



Bundesamt für Strahlenschutz

Deckblatt

GZ: QM - 9A 22100000 / SE 4.2

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	22100000	HGG	R	0003	00	Stand: 27.08.2014

Titel der Unterlage:
SACHSTANDSBERICHT HYDROGEOLOGIE

Ersteller/in:
AF CONSULT SWITZERLAND AG

Stempelfeld:



Bundesamt für Strahlenschutz

Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: II
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	22100000	HGG	R	0003	00	Stand: 27.08.2014

Titel der Unterlage:
SACHSTANDSBERICHT HYDROGEOLOGIE

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer/in (Zeichn.)	Rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
Kategorie S = substantielle Revision
mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden



Bundesaamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 1 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Sachstandsbericht Hydrogeologie

AF-Consult Switzerland AG, Baden (Schweiz)

AF 1764/23

Baden, 27.08.2014



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 2 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Impressum:

Auftraggeber: Bundesamt für Strahlenschutz
Willy-Brandt-Str. 5
D-38226 Salzgitter
Telefon: +49 (0)30 18333 0
Telefax: +49 (0)30 18333 1885
E-Mail: epost@bfs.de
Internet: www.bfs.de

Ersteller:

AF-Consult Switzerland AG
Täfernstrasse 26
CH-5405 Baden
Telefon: +41 (0)56 483 1212
Telefax: +41 (0)56 483 1255
E-Mail: swiss-info@afconsult.com
Internet: www.afconsult.com
[P:\1764_ge\Bericht\Sachstandsbericht_Hydrogeologie\BE_1764-23_Sachstandsbericht_Hydrogeologie_v1c.docx]

Der Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) erstellt. Das BfS behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung des BfS zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 3 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Revisionsblatt

Rev.	Rev.-Stand Datum	revidierte Seite	Kat.*)	Erläuterung der Revision

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
Kategorie S = substantielle Revision
Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 4 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

KURZFASSUNG

Autoren:

Titel: Sachstandsbericht Hydrogeologie, Schachanlage Asse II

Stand: 27.08.2014

Gegenstand des vorliegenden Berichts ist die Darstellung der hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Deckgebirge, wie sie sich aus der Standortüberwachung ergeben. Die primäre Zielsetzung ist dabei die Kompilation der verfügbaren Daten und die Identifikation von eventuellen Informationslücken. Die Synthese der Informationen zu einem oder mehreren konzeptuellen Modellen für die hydrogeologischen Verhältnisse im Deckgebirge ist nicht Ziel des vorliegenden Berichts. Die Interpretation der Daten beschränkt sich entsprechend auf Plausibilitätsprüfungen, wobei die Abgrenzung gegen die ersten Schritte der Entwicklung eines Konzeptmodells nicht immer scharf ist.

Dargestellt werden die vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und der vom vorherigen Betreiber (HMGU) erhobenen hydrologischen und hydrogeologischen Daten im Deckgebirge der Salzstruktur Asse für den Zeitraum von 10 Jahren, der die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 umfasst (Daten von 2012 als Anhang). Diese Daten werden zudem in Bezug gesetzt zu den Ergebnissen des von 1968 bis 1994 durchgeführten „Hydrogeologischen Forschungsprogramms Asse“ und der daran anschließend durchgeführten hydrologischen und hydrogeologischen Standortüberwachung im Umfeld der Schachanlage Asse II.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 5 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG	4
INHALTSVERZEICHNIS	5
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	9
TABELLENVERZEICHNIS	21
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	26
1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	27
2 STANDORT-KURZBESCHREIBUNG	28
2.1 GEOGRAPHISCHER ÜBERBLICK.....	28
2.1.1 Lage und Geomorphologie.....	28
2.1.2 Böden, Vegetation und Landnutzung.....	31
2.1.3 Klimatische Verhältnisse.....	31
2.2 GEOLOGISCH-HYDROGEOLOGISCHER ÜBERBLICK.....	32
2.2.1 Geologie und tektonische Struktur.....	32
2.2.2 Litho- und Hydrostratigraphie.....	35
2.2.3 Infiltrationsgebiete und Grundwasserneubildung.....	37
2.2.4 Exfiltrationsgebiete.....	41
2.2.5 Vorfluter und Einzugsgebiete.....	41
2.2.6 Grundwasseroberfläche.....	43
2.2.7 Grundwasserbeschaffenheit.....	44
3 HYDROLOGISCH-HYDROGEOLOGISCHES MESSNETZ.....	46
3.1 METEOROLOGISCHE STATION BEI SCHACHT ASSE 2.....	46
3.2 GRUNDWASSERMESSSTELLEN UND SCHÄCHTE.....	47
3.3 QUELLEN, DRAINAGEN UND VORFLUTER.....	55
4 GRUNDWASSERGANGLINIEN.....	57
4.1 METHODIK UND DATENGRUNDLAGE.....	58
4.1.1 Kabellichtlotmessung.....	58
4.1.2 Druckaufnehmer und Datenlogger.....	59
4.1.3 Luftdruckkompensation.....	60
4.1.4 Süßwasserdruckspiegelhöhe.....	62
4.1.5 Dichtemessung und Dichtekorrekturterme.....	63
4.1.6 Datengrundlage.....	68
4.2 GANGLINIEN DER SÜßWASSERDRUCKSPIEGELHÖHE.....	70
4.2.1 Buntsandstein.....	71
4.2.2 Muschelkalk.....	85
4.2.3 Keuper.....	119
4.2.4 Jura.....	124
4.2.5 Residuales Zechsteinsalinar (Hutgestein).....	128
4.2.6 Subrosionsgerinne am Salzspiegel.....	131



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 6 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

4.3	EINFLUSSFAKTOREN UND EXTREMWERTE.....	134
4.3.1	Einflussfaktoren auf die Ganglinien.....	134
4.3.2	Charakteristik der Ganglinien.....	136
4.3.3	Minimal- und Maximalwerte der Ganglinien	138
4.4	STATISTISCHE AUSWERTUNG UND ZEITREIHENANALYSE	141
4.4.1	Jährliche Entwicklung.....	143
4.4.2	Trendanalyse	145
4.4.3	Monats-Mittelwerte und -Standardabweichungen der trendbereinigten 15min-Daten.....	147
4.4.4	Fourieranalyse	149
4.4.5	Autokorrelationen	155
4.4.6	Statistische Signifikanz der berechneten Autokorrelationswerte	159
4.4.7	Kreuzkorrelationen mit Niederschlag und Luftdruck.....	162
4.4.8	Kreuzkorrelationen zwischen Messstellen	169
4.5	EINFLUSS VON LUFTDRUCKSCHWANKUNGEN	172
4.6	EINFLUSS VON GEZEITENKRÄFTEN	177
4.7	FUNKTIONALITÄT DER MESSSTELLEN.....	180
4.8	FUNKTIONALITÄT DER DRUCKAUFNEHMERSYSTEME.....	184
5	METEOROLOGISCHE DATEN UND ABFLUSSMESSUNGEN.....	187
5.1	METHODIK UND DATENGRUNDLAGE.....	187
5.1.1	Niederschlags- und Temperaturmessung	187
5.1.2	Datengrundlage	188
5.2	NIEDERSCHLAGS- UND TEMPERATURGESCHEHEN	188
5.2.1	Jährlicher Niederschlags- und Temperaturverlauf	188
5.2.2	Auswertung und Repräsentativität der Niederschlags- und Temperaturdaten	204
5.3	EVAPOTRANSPIRATION.....	208
5.3.1	Potentielle Evapotranspiration nach [Haude 1955]	209
5.3.2	Reale Evapotranspiration nach [DWD 2001].....	211
5.4	ABFLUSSRATEN UND -GANGLINIEN.....	213
5.4.1	M-Messstellen	213
5.4.2	Pegel der Altenau bei Wendessen	218
5.4.3	Grundwasserabflüsse in das Grubengebäude Asse II	221
6	GRUNDWASSERNEUBILDUNG	226
6.1	METHODIK UND DATENGRUNDLAGE.....	227
6.2	GRUNDWASSERNEUBILDUNG NACH GROWA06V2.....	229
6.3	VERGLEICHENDE BETRACHTUNG DER GRUNDWASSERNEUBILDUNG.....	231
7	GRUNDWASSEROBERFLÄCHE	233
7.1	METHODIK UND DATENGRUNDLAGE.....	233
7.2	GRUNDWASSERGLEICHENPLAN NACH [COLENCO 2006].....	235
7.3	GRUNDWASSEROBERFLÄCHE NACH DATEN 2011	236
8	GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT.....	238
8.1	METHODIK UND DATENGRUNDLAGE.....	239
8.1.1	Probennahme	239
8.1.2	Vor-Ort-Parameter	239
8.1.3	Laboranalytik.....	240
8.1.4	Plausibilitätsprüfung	245
8.1.5	Klassifizierung und Typisierung	247



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 7 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

8.1.6	Datengrundlage	250
8.2	HYDROCHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG	250
8.2.1	Buntsandstein	251
8.2.2	Muschelkalk	258
8.2.3	Keuper	283
8.2.4	Jura	287
8.2.5	Residualer Zechstein	290
8.2.6	Quellen und Vorfluter	294
8.3	GELÖSTE GASE	305
8.4	PLAUSIBILITÄT UND REPRÄSENTATIVITÄT	308
8.4.1	Plausibilität der Analysendatensätze.....	308
8.4.2	Repräsentativität der Analysendatensätze.....	313
8.5	HYDROCHEMISCHE TYPISIERUNG	323
8.5.1	Buntsandstein	326
8.5.2	Muschelkalk	327
8.5.3	Keuper	329
8.5.4	Jura	330
8.5.5	Residualer Zechstein	331
8.6	SPURENELEMENTE UND ELEMENTVERHÄLTNISSE	332
9	GRUNDWASSERVERWEILZEITEN UND -FLIESSPFAD	337
9.1	METHODIK UND DATENGRUNDLAGE.....	337
9.1.1	Tritium- und Heliumisotope	337
9.1.2	Kohlenstoffisotope.....	339
9.1.3	Wasserisotope	341
9.1.4	Strontiumisotope	343
9.1.5	Datengrundlage	343
9.2	TRITIUM- UND HELIUMISOTOPE	345
9.3	KOHLNSTOFFISOTOPE.....	350
9.4	WASSERISOTOPE.....	360
9.5	STRONTIUMISOTOPE	365
10	SONDERERKUNDUNGSPROGRAMME	373
10.1	KARTIERUNG DER QUELL- UND OBERFLÄCHENGEWÄSSER DES ASSE-HÖHENZUGES.....	373
10.2	RADON-222 ALS NATÜRLICHER TRACER FÜR GRUNDWASSEREINTRITTE IN DIE ALTENAU.	374
11	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	377
11.1	GRUNDWASSERGANGLINIEN	377
11.1.1	Datengrundlage, Messstellen und Messmethoden	377
11.1.2	Visuelle Analyse.....	378
11.1.3	Vertiefte Zeitreihenanalyse	379
11.1.4	Fazit und Bewertung	380
11.2	METEOROLOGISCHE DATEN UND ABFLUSSMESSUNGEN	380
11.2.1	Datengrundlage, Messstellen und Messmethodik.....	380
11.2.2	Analyse der meteorologischen Daten	381
11.2.3	Repräsentanz der meteorologischen Daten.....	381
11.2.4	Analyse der Abflussdaten	381
11.2.5	Fazit und Bewertung	381
11.3	GRUNDWASSERNEUBILDUNG	382
11.3.1	Datengrundlage	382



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 8 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

11.3.2	Grundwasserneubildung nach [GSF 1994] und [Stein 1999]	382
11.3.3	Grundwasserneubildungsrate nach GROWA06v2	382
11.3.4	Fazit und Bewertung	383
11.4	GRUNDWASSEROBERFLÄCHE	383
11.4.1	Datengrundlage	383
11.4.2	Grundwassergleichenpläne von [Schönfeld 1986] und [GSF 2001]	383
11.4.3	Grundwassergleichenpläne von [Colenco 2006]	384
11.4.4	Fazit und Bewertung	384
11.5	GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT	384
11.5.1	Datengrundlage, Probennahme und Analytik	384
11.5.2	Plausibilitätsprüfung der Analysendaten	385
11.5.3	Auswertung der Grundwasserbeschaffenheit	385
11.5.4	Fazit und Bewertung	386
11.6	GRUNDWASSERVERWEILZEITEN/-FLIESSPFADE	387
11.6.1	Datengrundlage, Probennahme und Analytik	387
11.6.2	Tritium- und Heliumisotope	387
11.6.3	Kohlenstoffisotope	388
11.6.4	Wasserisotope	389
11.6.5	Strontiumisotope	389
11.6.6	Fazit und Bewertung	390
11.7	SONDERERKUNDUNGSPROGRAMME	390
11.7.1	Datengrundlage	390
11.7.2	Kartierung der Quell- und Oberflächengewässer des Asse-Höhenzuges	390
11.7.3	Radon-222 als natürlicher Tracer für Grundwassereintritte in die Altenau	390
11.7.4	Fazit und Bewertung	391

LITERATURVERZEICHNIS..... 392

ANHANG A: BESCHREIBUNG DER GW- UND M-MESSSTELLEN..... 401

ANHANG B: GANGLINIEN DER STANDROHRSPIEGELHÖHE 423

ANHANG C: THEORETISCHE GRUNDLAGEN DER BAROMETRISCHEN EFFIZIENZ..... 433

ANHANG D: NIEDERSCHLAGSDATEN..... 451

ANHANG E: HYDROCHEMISCHE ANALYSENDATENSÄTZE..... 461

ANHANG F: ISOTOPENCHEMISCHE ANALYSENDATENSÄTZE 491

ANHANG G: DATEN FÜR DAS HYDROLOGISCHE JAHR 2012 500

Gesamtseitenzahl: 522

Stichworte: Asse, Deckgebirge, Standortüberwachung, Hydrogeologie, Hydrochemie, Isotopenchemie, Datenkompilation



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 9 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 2.1:	Topographische Übersichtskarte des Asse-Höhenzuges.....	30
Abb. 2.2:	Geologisches Querprofil durch die Asse-Struktur auf der Höhe von Schacht Asse 2 (Quelle: Schnitt 2 des Asse-Risswerks [Asse-GmbH 2014]).	34
Abb. 2.3:	Oberirdische Einzugsgebiete sowie Überblick der Quell-, Drainagen- und Vorfluter-Messstellen („M-Messstellen“) im Gebiet des Asse-Höhenzuges und Umgebung. Von den M-Messstellen sind nur die vier Vorfluter-Messstellen M0, M25, M35 und M88 bezeichnet, an denen Messungen zur Ermittlung des Trockenwetterabflusses durchgeführt wurden. Eine detaillierte Übersicht findet sich in Anhang A.	40
Abb. 4.1:	Prinzipiskizze zu den Begrifflichkeiten bei der Bestimmung des Abstichs, der Standrohrspiegelhöhe und der äquivalenten Süßwasserdruckspiegelhöhe in einem Grundwasserkörper mit Dichteschichtung (ρ_f = Dichte von Süßwasser).....	58
Abb. 4.2:	Vergleich der Luftdruckmessungen der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 mit dem Baro-Diver in Schacht Asse 1 sowie nahe Schacht Asse 2 für den Zeitraum 01.04. bis 31.10.2011 (Ausfall Baro-Divers Schacht Asse 1 09.05. – 14.07.2011).	61
Abb. 4.3:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H3 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	73
Abb. 4.4:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H3 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	73
Abb. 4.5:	Vergleich der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe im Monat April 2011 in der GWM H3 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.....	74
Abb. 4.6:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in Schacht Asse 1 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002 2011).....	75
Abb. 4.7:	Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in Schacht Asse 1 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	77
Abb. 4.8:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe in Schacht Asse 1 für den Wasserspiegelabfall im Februar 2002 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.....	77
Abb. 4.9:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe in Schacht Asse 1 für den Wasserspiegelabfall im Januar 2011 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck. Die Begrenzung des Verlaufs der Ganglinie bei 141,8 mNN am 21.01.2011 resultiert aus der Unterschreitung des Messbereiches des Druckaufnehmers.	78
Abb. 4.10:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe in Schacht Asse 3 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	79
Abb. 4.11:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in Schacht Asse 3 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	80
Abb. 4.12:	Vergleich der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe im Monat Juli 2011 in Schacht Asse 3 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.....	80
Abb. 4.13:	Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in Schachtbrunnen M1 mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2010).	82
Abb. 4.14:	Vergleich der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe im Monat April 2011 in Schachtbrunnen M1 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.	82
Abb. 4.15:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H24b mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	84
Abb. 4.16:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H24b mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	84
Abb. 4.17:	Vergleich der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe im Monat April 2011 in der GWM H24b mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.....	85
Abb. 4.18:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H1 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	86



Bundesaamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 10 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Abb. 4.19:	Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H1 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	87
Abb. 4.20:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H14 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	88
Abb. 4.21:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H14 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010-2011).	89
Abb. 4.22:	Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H14 im Monat Januar 2011 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.	89
Abb. 4.23:	Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H14 im Monat April 2011 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.....	90
Abb. 4.24:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H23 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	91
Abb. 4.25:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H23 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	92
Abb. 4.26:	Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe im Monat April 2011 in der GWM H23 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.....	93
Abb. 4.27:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM P16 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	94
Abb. 4.28:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P16 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	95
Abb. 4.29:	Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe im Monat April 2011 in der GWM P16 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.....	95
Abb. 4.30:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM PN1-FP (oben) und PN1-TP (unten) mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).	97
Abb. 4.31:	Differenz der Süßwasserdruckspiegelhöhe des Flach- und des Tiefpegels in der GWM PN1 (hydrologische Jahre 2010 und 2011) zusammen mit den Niederschlagssummen.	98
Abb. 4.32:	Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM PN1-FP (oben) und PN1-TP (unten) im Monat April 2011 mit den Niederschlagssummen und den Luftdruckwerten.	99
Abb. 4.33:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM PN2-FP (oben) und PN2-TP (unten) mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).	101
Abb. 4.34:	Differenz der Süßwasserdruckspiegelhöhe des Flach- und des Tiefpegels in der GWM PN2 (hydrologische Jahre 2010 und 2011) zusammen mit den Niederschlagssummen.	102
Abb. 4.35:	Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM PN2-FP (oben) und PN2-TP (unten) im Monat April 2011 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.	103
Abb. 4.36:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM R5 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	104
Abb. 4.37:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM R5 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	105
Abb. 4.38:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM R6 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011). Die y-Achse wurde zwecks Darstellbarkeit zwischen 100 und 126 mNN unterbrochen.....	106
Abb. 4.39:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM R6 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	107
Abb. 4.40:	Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM R6 im Monat April 2011 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.....	107
Abb. 4.41:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM R7 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	109



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 11 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Abb. 4.42:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM R7 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	109
Abb. 4.43:	Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe im Monat April 2011 in der GWM R7 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.....	110
Abb. 4.44:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM R8 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	111
Abb. 4.45:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM R8 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	112
Abb. 4.46:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H6 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	113
Abb. 4.47:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H6 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	114
Abb. 4.48:	Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H6 im Monat April 2011 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.....	114
Abb. 4.49:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H16 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	116
Abb. 4.50:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H16 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	116
Abb. 4.51:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM P13 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	118
Abb. 4.52:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P13 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	118
Abb. 4.53:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P17 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	120
Abb. 4.54:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM P9 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	121
Abb. 4.55:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P9 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	122
Abb. 4.56:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM P15 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	123
Abb. 4.57:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P15 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	124
Abb. 4.58:	Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H7 mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2011).	125
Abb. 4.59:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H9 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	127
Abb. 4.60:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H9 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	127
Abb. 4.61:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H9 zusammen den Niederschlagssummen während des Wasserspiegelabfallereignisses in Schacht Asse 1 im Januar 2011.	128
Abb. 4.62:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H5 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	130
Abb. 4.63:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H5 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	130
Abb. 4.64:	10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H17 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).	132
Abb. 4.65:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H17 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).....	132



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 12 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Abb. 4.66: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H17 im Monat Januar 2011 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.133

Abb. 4.67: Vergleich der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H17 im Monat April 2011 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.....133

Abb. 4.68: Jährliche Mittelwerte, jährliche Extrema und jährliche Standardabweichungen der Süßwasserdruckspiegelhöhe der GWM P16 (15min-Werte; vor der Trendbereinigung).144

Abb. 4.69: Jährliche Mittelwerte, jährliche Extrema und jährliche Standardabweichungen der Süßwasserdruckspiegelhöhe der GWM R7 (15min-Werte; vor der Trendbereinigung).145

Abb. 4.70: Monatsmittelwerte von $y_{PS}(t)$ und Standardabweichung der trendbereinigten 15min-Werte für die GWM P16 im betreffenden Monat.148

Abb. 4.71: Monatsmittelwerte von $y_{PS}(t)$ und Standardabweichung der trendbereinigten 15min-Werte für die GWM R7 im betreffenden Monat.149

Abb. 4.72: Frequenzspektrum der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ für die GWM P16.152

Abb. 4.73: Aufteilung der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ in den periodischen Anteil $y_P(t)$ und den stochastischen Anteil $y_S(t)$ gemäß Gl. (4.12) für die GWM P16.153

Abb. 4.74: Frequenzspektrum der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ für die GWM R7.....154

Abb. 4.75: Aufteilung der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ in den periodischen Anteil $y_P(t)$ und den stochastischen Anteil $y_S(t)$ gemäß Gl. (4.12) für die GWM R7.155

Abb. 4.76: Autokorrelation des stochastischen Anteils der Süßwasserdruckspiegelhöhe für die GWM P16. Die gestrichelte Linie zeigt die Signifikanzgrenze der Autokorrelation für diese GWM (vgl. Text).157

Abb. 4.77: Autokorrelation des stochastischen Anteils der Süßwasserdruckspiegelhöhe für die GWM R7. Die gestrichelte Linie zeigt die Signifikanzgrenze der Autokorrelation für diese GWM (vgl. Text).158

Abb. 4.78: Kreuzkorrelation der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ mit dem Niederschlag (Aggregationszeit 24 h) für die GWM P16. Die gestrichelte Linie zeigt die Signifikanzgrenze $R_{NS,sig} = 0,03$ (vgl. Text).164

Abb. 4.79: Kreuzkorrelation der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ mit dem Niederschlag (Aggregationszeit 24 h) für die GWM R7. Die gestrichelte Linie zeigt die Signifikanzgrenze $R_{NS,sig} = 0,03$ (vgl. Text).165

Abb. 4.80: Kreuzkorrelation der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ mit dem Luftdruck für die GWM P16. Die gestrichelte Linie zeigt die Signifikanzgrenze $R_{LD,sig} = 0,05$ (vgl. Text).166

Abb. 4.81: Kreuzkorrelation der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ mit dem Luftdruck für die GWM R7. Die gestrichelte Linie zeigt die Signifikanzgrenze $R_{LD,sig} = 0,05$ (vgl. Text).167

Abb. 4.82: Kreuzkorrelation zwischen den stochastischen Anteilen der Süßwasserdruckspiegelhöhen in den GWM P16 und R7. Die gestrichelte Linie zeigt die Signifikanzgrenze von 0,4.170

Abb. 4.83: Kreuzkorrelation zwischen den stochastischen Anteilen der Süßwasserdruckspiegelhöhen in den GWM P16 und R8. Die gestrichelte Linie zeigt die Signifikanzgrenze von 0,4.171

Abb. 4.84: Barometrischer Einfluss $BE(\tau)$ in der GWM H3 (Diver-Druckaufnehmer) berechnet für den Zeitraum vom 01.03. bis zum 01.05.2011. Die grauen Balken geben den Standardfehler (1σ) der abgeschätzten Funktion an; der lineare Trend wurde vor der Berechnung der BRF von den Daten abgezogen.....174

Abb. 4.85: Barometrischer Einfluss $BE(\tau)$ in der GWM P16 (Seba-Druckaufnehmer) berechnet für den Zeitraum vom 01.03. bis zum 01.05.2011. Die grauen Balken geben den



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 13 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

	Standardfehler (1σ) der abgeschätzten Funktion an; der lineare Trend wurde vor der Berechnung der BRF von den Daten abgezogen.	175
Abb. 4.86:	Barometrischer Einfluss $BE(\tau)$ in der GWM PN2-TP (Diver-Druckaufnehmer) berechnet für den Zeitraum vom 01.03. bis zum 01.05.2011. Die grauen Balken geben den Standardfehler (1σ) der abgeschätzten Funktion an; der lineare Trend wurde vor der Berechnung der BRF von den Daten abgezogen.	176
Abb. 4.87:	Barometrischer Einfluss $BE(\tau)$ in der GWM R6 (Seba-Druckaufnehmer) berechnet für den Zeitraum vom 01.03. bis zum 01.05.2011. Die grauen Balken geben den Standardfehler (1σ) der abgeschätzten Funktion an; der lineare Trend wurde vor der Berechnung der BRF von den Daten abgezogen.	177
Abb. 4.88:	Vergleich der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe (Diver-Druckaufnehmer) im Monat April 2011 in der GWM PN2-FP mit den Niederschlagswerten und den mittels der Software TSoft berechneten Gezeitenbeschleunigung für den Standort Asse.	178
Abb. 4.89:	Vergleich der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) im Monat April 2011 in der GWM R6 mit den Niederschlagswerten und den mittels der Software TSoft berechneten Gezeitenbeschleunigung für den Standort Asse.	179
Abb. 4.90:	Schachtbauwerk der GWM PN1 mit den Peilrohren des Flach- (links) und Tiefpegels (rechts). Eindringenes Oberflächenwasser bedeckt die Schachtsohle (Aufnahmedatum 12.10.2011).	181
Abb. 5.1:	Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2002.	189
Abb. 5.2:	Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2003.	190
Abb. 5.3:	Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2004.	191
Abb. 5.4:	Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2005.	192
Abb. 5.5:	Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2006.	193
Abb. 5.6:	Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2007.	194
Abb. 5.7:	Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2008.	195
Abb. 5.8:	Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2009.	196
Abb. 5.9:	Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2010.	197
Abb. 5.10:	Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2011.	198
Abb. 5.11:	Darstellung der Niederschlagsganglinie der Wetterstation Asse mit Hilfe des gleitenden Durchschnitts der Tagessummen über eine Periode von 92 bzw. 182 Tagen.	201
Abb. 5.12:	Semilogarithmische Abflussganglinie basierend auf Tageswerten des Abflusses der Altenau am Pegel Wendessen für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 (Datenbasis: NLWKN).	220
Abb. 5.13:	Semilogarithmische Abflussganglinie basierend auf Tageswerten des Abflusses der Altenau am Pegel Wendessen für die hydrologischen Jahre 2010 und 2011 (Datenbasis: NLWKN).	221
Abb. 5.14:	Summe der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 637-m- und 658-m-Sohle in der Südflanke der Schachtanlage Asse II (hydrologische Jahre 2002-2011).	222
Abb. 5.15:	Summe der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 725-m- und 750-m-Sohle in der Südflanke der Schachtanlage Asse II (hydrologische Jahre 2002-2011).	223



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 14 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Abb. 5.16: Gesamtsumme der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 637-m- und 658-m-Sohle sowie der 725-m- und 750-m-Sohle in der Südflanke der Schachanlage Asse II (hydrologische Jahre 2002-2011).223

Abb. 5.17: Summe der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 637-m- und 658-m-Sohle in der Südflanke der Schachanlage Asse II (hydrologische Jahre 2010 und 2011).224

Abb. 5.18: Summe der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 725-m- und 750-m-Sohle in der Südflanke der Schachanlage Asse II (hydrologische Jahre 2010 und 2011).224

Abb. 5.19: Gesamtsumme der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 637-m- und 658-m-Sohle sowie der 725-m- und 750-m-Sohle in der Südflanke der Schachanlage Asse II (hydrologische Jahre 2010 und 2011).225

Abb. 6.1: Grundwasserneubildungsraten nach dem GROWA06v2-Modell für den Asse-Höhenzug. Die Schächte Asse 1 und 2 sind zur Orientierung eingezeichnet.230

Abb. 7.1: Grundwassergleichenkarte nach [Colenco 2006] ergänzt um die Grundwasserspiegelhöhen in den PN-Bohrungen (Flachpegel) und Erkundungsbohrung R15 (Ruhewasserspiegel im *mu*).234

Abb. 8.1: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in der GWM H3. Dunkelgraue Probensymbole kennzeichnen fragwürdige Analysendatensätze mit Ionenbilanzfehlern >5 % bis <10 %, hellgraue Symbole und Linien fehlerhafte Analysendatensätze mit einem Ionenbilanzfehler von >10 % (siehe Text).252

Abb. 8.2: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in Schacht Asse 1. Die hellgraue Symbole und Linien zeigen die als fehlerhaft eingestuften Analysendatensätze mit einem Ionenbilanzfehler von >10 % (siehe Text).254

Abb. 8.3: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in Schacht Asse 3.255

Abb. 8.4: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H24b. Gezeigt sind hier aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die Analysen der Jahre 2006 bis 2010. Die im Anhang in Tab. E.4 dargestellten Analysen der Jahre 2002 bis 2005 zeigen aber sehr ähnliche Konzentrationen der Hauptinhaltsstoffe.257

Abb. 8.5: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen in mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H1.259

Abb. 8.6: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H14.260

Abb. 8.7: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H23. Graue Probensymbole kennzeichnen Analysendatensätze mit hohen Ionenbilanzfehlern zwischen 5 % und 10 % die als fragwürdig eingestuft werden.262

Abb. 8.8: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM P16. Die hellgrauen Probensymbole und Linien zeigen an, dass für diese GWM aus dem betrachteten Zeitraum von 2002 bis 2011 nur Proben mit einem Ionenbilanzfehler >10 % vorlagen, die als fehlerhaft eingestuft werden (siehe Text).264

Abb. 8.9: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in der GWM PN1-FP und PN1-TP. Die dunkelgrauen Probensymbole und Linien kennzeichnen Analysendatensätze mit hohen Ionenbilanzfehlern zwischen 5 und 10 % die als fragwürdig eingestuft werden.266

Abb. 8.10: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in der GWM PN2-FP und PN2-TP. Die dunkelgrauen Probensymbole und Linie kennzeichnen den Analysendatensatz mit hohem Ionenbilanzfehlern >10 %, der als fehlerhaft eingestuft wird (siehe Text).267



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 15 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Abb. 8.11: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM R5.269

Abb. 8.12: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM R6.271

Abb. 8.13: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM R7 (für die Proben aus 2007 und 2010 liegt keine Bestimmung des HCO₃⁻ vor). Hellgraue Probensymbole kennzeichnen die beiden Analysendatensätze mit Ionenbilanzfehlern zwischen 5 und 10 % die als fragwürdig eingestuft werden.273

Abb. 8.14: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM R8. Graue Probensymbole kennzeichnen Analysendatensätze mit Ionenbilanzfehlern zwischen 5 und 10 %, die als fragwürdig eingestuft werden.275

Abb. 8.15: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H6. Dunkelgraue Probensymbole kennzeichnen Analysendatensätze mit Ionenbilanzfehlern zwischen 5 und 10 % die als fragwürdig eingestuft werden.277

Abb. 8.16: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H16.279

Abb. 8.17: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM P13. Graue Probensymbole kennzeichnen Analysendatensätze mit Ionenbilanzfehlern zwischen 5 und 10 %, diese Analysen werden als fragwürdig eingestuft.280

Abb. 8.18: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen in mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H2.282

Abb. 8.19: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM P17.284

Abb. 8.20: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM P15. Dunkelgraue Probensymbole kennzeichnen Analysendatensätze mit Ionenbilanzfehlern zwischen 5 und 10 %, die als fragwürdig eingestuft wurden. Das Fragezeichen in der Probe P15-2003 zeigt an, dass für diese Probe keine Entnahmetiefe angegeben wurde.286

Abb. 8.21: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H7. Die dunkelgrauen Probensymbole kennzeichnen den als fragwürdig eingestuft Analysendatensatz mit einem Ionenbilanzfehler zwischen 5 und 10 %. Die hellgrauen Symbole kennzeichnen den fehlerhaften Analysendatensatz (Ionenbilanzfehler >10 %).288

Abb. 8.22: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H9.289

Abb. 8.23: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H5. Die dunkelgrauen Probensymbole kennzeichnen die beiden Analysendatensätze mit Ionenbilanzfehlern zwischen 5 und 10 % die als fragwürdig eingestuft werden.291

Abb. 8.24: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H17.293

Abb. 8.25: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers aus den Quellen M17 (s) und M10 (so). Die hellgrauen Symbole kennzeichnen die fehlerhaften Analysendatensätze mit einem Ionenbilanzfehler >10 %.295

Abb. 8.26: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers aus den Quellen M2 (mu) und M20 (mu). Die hellgrauen Symbole kennzeichnen den fehlerhaften Analysendatensatz mit einem Ionenbilanzfehler >10 %.297

Abb. 8.27: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers aus den Quellen M15 (mm) und M21 (mm). Die dunkelgrauen



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 16 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

	Probensymbole kennzeichnen den als fragwürdig eingestuft Analysendatensatz mit einem Ionenbilanzfehler zwischen 5 und 10 %.....	299
Abb. 8.28:	Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers aus den Quellen M63 (su/z) und M305 (su/z).....	301
Abb. 8.29:	Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Wassers aus der Vorfluter-Messstelle M25 (Rothebach).....	303
Abb. 8.30:	Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Wassers aus der Vorfluter-Messstelle M401 (Ammerbeek). Die hellgrauen Symbole kennzeichnen den fehlerhaften Analysendatensatz mit einem Ionenbilanzfehler >10 %.....	304
Abb. 8.31:	Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Wassers aus dem Fischteich bei Wittmar. Die hellgrauen Symbole kennzeichnen die fehlerhaften Analysendatensätze mit einem Ionenbilanzfehler >10 %.....	305
Abb. 8.32:	Synoptische Darstellung der Ionenbilanzfehler der Wasseranalysen der GWM des Asse-Höhenzuges aus den Jahren 2002 bis 2011. Das dunkelgraue Band markiert den akzeptablen Wertebereich des Ionenbilanzfehlers ($\pm 5\%$), das hellgraue Band den als fragwürdig eingestuften Bereich ($\pm 5\%$ bis $\pm 10\%$). Proben mit einem Ionenbilanzfehler $>\pm 10\%$ werden als fehlerhaft betrachtet.....	311
Abb. 8.33:	(Links) Diagramm mit den im Labor bestimmten TDS-Werte im Vergleich mit dem aus den Ionenkonzentrationen berechneten TDS-Wert. (Rechts) Diagramm der im Labor gemessenen im Vergleich mit der aus den Ionenladungen berechneten spezifischen elektrischen Leitfähigkeit.....	312
Abb. 8.34:	Synoptische Darstellung der vor Ort gemessenen pH-Werte in den Proben aus den GWM des hydrogeologischen Messnetzes (2002 bis 2011). Die beiden gestrichelten Linien bei pH = 5,5 und 8 markieren den pH-Wertebereich natürlicher Grundwässer.....	315
Abb. 8.35:	Synoptische Darstellung der Sauerstoffgehalte der Wasserproben aus den GWM (Probennahmekampagnen 2007 und 2010/11).....	317
Abb. 8.36:	Synoptische Darstellung der Nitratkonzentrationen in den Proben aus den GWM des hydrogeologischen Messnetzes aus den Jahren 2002-2011.....	320
Abb. 8.37:	Synoptische Darstellung der DOC-Konzentrationen in den Proben aus den GWM des hydrogeologischen Messnetzes aus den Jahren 2010-2011.....	322
Abb. 8.38:	Piper-Diagramm der Grundwässer aus den Messstellen des hydrogeologischen Messnetz, die den Unteren bzw. Oberen Buntsandstein erschließen (Proben der Jahre 2002 bis 2011 mit einem Ionenbilanzfehler <10 %)......	326
Abb. 8.39:	Piper-Diagramm der Grundwässer aus den Messstellen des hydrogeologischen Messnetz, die den Unteren bzw. Mittleren Muschelkalk erschließen (Proben der Jahre 2002 bis 2011 mit einem Ionenbilanzfehler <10 %)......	327
Abb. 8.40:	Piper-Diagramm der Grundwässer aus den tiefen R-Bohrungen, die mit ihrer perforierten Verrohrung den Unteren Muschelkalk erschließen (Proben der Jahre 2002 bis 2011 mit einem Ionenbilanzfehler <10 %)......	328
Abb. 8.41:	Piper-Diagramm der Grundwässer aus den Messstellen des hydrogeologischen Messnetz, die Schichten des Mittleren und Oberen Keuper erschließen (Proben der Jahre 2002 bis 2011 mit einem Ionenbilanzfehler <10 %)......	329
Abb. 8.42:	Piper-Diagramm der Grundwässer aus den Messstellen des hydrogeologischen Messnetz, die Schichten des Unteren Jura erschließen (Proben der Jahre 2002 bis 2011 mit einem Ionenbilanzfehler <10 %)......	330
Abb. 8.43:	Piper-Diagramm der Grundwässer aus den Messstellen des hydrogeologischen Messnetz, die residualen Zechstein bzw. Subrosionsgerinne erschließen (Proben der Jahre 2002 bis 2011 mit einem Ionenbilanzfehler <10 %)......	331
Abb. 8.44:	Semilogarithmische Darstellung der Br/Cl-Verhältnisse der Proben aus den GWM des hydrogeologischen Messnetz (Jahre 2002 bis 2011). Die Meerwasser-Evaporationskurve wurde aus [Hoth et al. 1997] entnommen.....	333



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 17 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Abb. 8.45: Synoptische Darstellung der Cl/Br-Verhältnisse (aus den mmol(eq)/l berechnet) in den Proben aus den GWM des hydrogeologischen Messnetzes aus den Jahren 2002 bis 2011. Die graue gestrichelte Linie bei einem Cl/Br-Verhältnisse bei ca. 650 ist nach [Davis et al. 1998] für heutiges Meerwasser charakteristisch.....334

Abb. 8.46: I/Cl-Verhältnisse der Proben aus den GWM des hydrogeologischen Messnetzes aus den Jahren 2002 bis 2011.....335

Abb. 8.47: Li/Cl-Verhältnisse der Proben aus den GWM des hydrogeologischen Messnetzes aus den Jahren 2002 bis 2011.....336

Abb. 9.1: Darstellung der ³H- und der ³He_{tri}-Konzentration in den Wasserproben des Asse-Deckgebirges inklusive einer Probe („658008-06“) aus dem gefassten Lösungszutritt des Grubengebäudes (L658008; 658-m-Sohle; Südflanke). Die Zahlen über den Säulen sowie die Abkürzungen „nd“ = nicht detektiert und „nb“ = nicht bestimmt, beziehen sich auf das ³He_{tri}. Weiterhin: „Ro.B.“ = Rothebach, „Amm.“ = Ammerbeek.....345

Abb. 9.2: Summe der jeweiligen ³H- und ³He_{tri}-Gehalte der Wässer aus dem Asse-Deckgebirge aufgetragen gegen die ³H-³He-Infiltrationsalter (Abszisse und linke Skala, dunkelblaue Vollkreise). Zusätzlich ist die Tritiumkonzentration der Niederschläge (mit der Niederschlagsmenge gewichtete Jahresmittelwerte) an der GNIP-Station in Braunschweig für die Jahre 1994 bis 2007 gezeigt (Abszisse und rechte Skala, hellblaue Volldreiecke).....346

Abb. 9.3: Darstellung der ³H- gegen die ⁴He_{rad}-Konzentration in den Wasserproben aus den hydrogeologischen Messstellen des Asse-Höhenzuges inklusive einer Probe („658008-06“) aus dem Lösungszutritt in der Südflanke des Asse-Grubengebäudes (L658008, 658-m-Sohle).....347

Abb. 9.4: Mit der Niederschlagsmenge gewichtete Jahresmittelwerte der Tritiumkonzentration der Niederschläge an der GNIP-Station in Braunschweig für die Jahre 1978 bis 2007 zusammen mit der jeweils für das Jahr 2010 nach Berücksichtigung des radioaktiven Zerfalls verbliebenen Tritiumkonzentration.348

Abb. 9.5: ¹⁴C-Aktivität des gelösten Kohlenstoffs der Grundwässer des Asse-Deckgebirges inklusive einer Probe („658008-11“) aus dem Lösungszutritt (L658008; 658-m-Sohle; Südflanke) des Asse-Grubengebäudes. Abkürzungen: „nb“ = nicht bestimmt, „Ro.B.“ = Rothebach, „Amm.“ = Ammerbeek.350

Abb. 9.6: δ¹³C des gelösten Kohlenstoffs der Grundwässer des Asse-Deckgebirges inklusive einer Probe („658008-11“) aus dem Lösungszutritt des-Grubengebäudes (L658008, 658-m-Sohle, Südflanke). Abkürzungen: „nb“ = nicht bestimmt, „Ro.B.“ = Rothebach, „Amm.“ = Ammerbeek.352

Abb. 9.7: Kohlenstoffisotopie (¹⁴C-Aktivität, δ¹³C-Wert) des gelösten Kohlenstoffs der Grundwässer des Asse-Deckgebirges zusammen mit den Wertebereichen möglicher Kohlenstoffquellen (graue Vierecke) und der Darstellung relevanter Prozesse als Pfeile, die schematisch die Richtung der Isotopenveränderung angeben [Mook 2001].353

Abb. 9.8: δ¹³C-Werte des gelösten Kohlenstoffs aufgetragen gegen den DIC-Gehalt (CO₂ + HCO₃) der Wasserproben des Asse-Deckgebirges.355

Abb. 9.9: ³H-Gehalt der Wasserproben des Asse-Deckgebirges aufgetragen gegen die ¹⁴C-Aktivität der jeweiligen Proben.....356

Abb. 9.10: δ²H-δ¹⁸O-Diagramm der GWM und M-Messstellen des Asse-Deckgebirges und der gefassten Zutrittslösung des Grubengebäudes (L658008; 658-m-Sohle, Südflanke). Dargestellt sind zudem die GWML bzw. LMWL (Erklärung im Text) und die Wasserisotope der Niederschläge (Monatsmittel 1978 bis 2005) der GNIP-Station Braunschweig.....361

Abb. 9.11: Ausschnitt des δ²H-δ¹⁸O-Diagramm mit den Daten der an der an der Stelle L658008 gefassten Zutrittslösung. Die jeweiligen Proben sind mit Monat und Jahr der Probennahme gekennzeichnet, um mögliche saisonale und mehrjährige Trends aufzuzeigen.....362



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 18 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Abb. 9.12: Sekundäre Fraktionierungsprozesse im Grundwasser und die resultierende Positionen im $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ -Diagramm (aus [Klaus 2008]).....363

Abb. 9.16: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der Grundwässer des Asse-Deckgebirges aufgetragen gegen den Kehrwert des jeweiligen Sr-Gehalts (aufgrund ihres sehr geringen Sr-Gehaltes sind die Proben der GWM H3 und P15 nicht gezeigt). Zudem sind die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der lithologischen Einheiten des Deckgebirges gezeigt (Mittelwerte der Analysendaten in [Schmidt 2006]).370

Abb. 10.1: Übersichtskarte der Ergebnisse der Radon-222, Leitfähigkeits- und Wassertemperaturmessungen entlang des Flussabschnitts der Altenau zwischen Groß Vahlberg und Wendessen (Abb. aus [Seidel 2010b]).376

Abb. A.1: Lage der M-Messstellen M0 bis M112 auf dem Asse-Höhenzug (Datenbasis [Seidel 2011a]).419

Abb. A.2: Lage der M-Messstellen M0 bis M101 auf dem Asse-Höhenzug (vergrößerter Ausschnitt aus Abb. A.1; Datenbasis [Seidel 2011a]). Die M-Messstellen M31a und M31b liegen nur wenige Meter östlich von M31 entlang des Bleier Grabens und wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.....420

Abb. A.3: Lage der M-Messstellen M200V bis M319 auf dem Asse-Höhenzug (Datenbasis [Seidel 2011a]).421

Abb. A.4: Lage der M-Messstellen M400 bis M408 auf dem Asse-Höhenzug (Datenbasis [Seidel 2011a]).422

Abb. B.1: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H3 (*su*) für die hydrologischen Jahre 1983 bis 2011.423

Abb. B.2: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in Schacht Asse 1 (*su*) für die hydrologischen Jahre 1983 bis 2011.423

Abb. B.3: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Abstiche) in Schacht Asse 3 (*su, z3r*) für die hydrologischen Jahre 1976 bis 2011.424

Abb. B.4: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H24b (*so*) für die hydrologischen Jahre 1987 bis 2011.424

Abb. B.5: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H1 (*mu*) für die hydrologischen Jahre 1979 bis 2011.425

Abb. B.6: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H14 (*mu*) für die hydrologischen Jahre 1983 bis 2011.425

Abb. B.7: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H23 (*mu*) für die hydrologischen Jahre 1986 bis 2011.426

Abb. B.8: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM P16 (*mu*) für die hydrologischen Jahre 1986 bis 2011.426

Abb. B.9: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM R5 (*mu*) für die hydrologischen Jahre 1986 bis 2011.427

Abb. B.10: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM R6 (*mu*) für die hydrologischen Jahre 1986 bis 2011.427

Abb. B.11: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM R7 (*mu*) für die hydrologischen Jahre 1987 bis 2011.428

Abb. B.12: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM R8 (*mu*) für die hydrologischen Jahre 1987 bis 2011.428

Abb. B.13: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H6 (*mm*) für die hydrologischen Jahre 1981 bis 2011.429

Abb. B.14: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H16 (*mm*) für die hydrologischen Jahre 1973 bis 2011.429

Abb. B.15: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM P13 (*mm, so*) für die hydrologischen Jahre 1986 bis 2011.430



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 19 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Abb. B.16:	Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM P9 (km) für die hydrologischen Jahre 1987 bis 2011.	430
Abb. B.17:	Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM P15 (ko) für die hydrologischen Jahre 1988 bis 2011.	431
Abb. B.18:	Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H9 (ju) für die hydrologischen Jahre 1983 bis 2011.	431
Abb. B.19:	Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H5 (z3r) für die hydrologischen Jahre 1983 bis 2011.	432
Abb. B.20:	Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H17 (Subrosionsgerinne am Salzspiegel) für die hydrologischen Jahre 1977 bis 2011.	432
Abb. C.1:	Qualitativer zeitlicher Verlauf des Wasserdrucks in einiger Tiefe unterhalb des Grundwasserspiegels in einem ungespannten Grundwasserleiter.	441
Abb. C.2:	Resultierender qualitativer zeitlicher Verlauf der Größe BE(t).	442
Abb. C.3:	Zeitlicher Verlauf des Druckausgleichs zwischen der Filterstrecke und dem GW-Leiter für eine Transmissivität von $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ (Kurve k_f -Wert 1) und für eine zehnfach größere Transmissivität (Kurve k_f -Wert 2). Die übrigen Systemparameter sind im Text angegeben.	446
Abb. G.1:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H3 (su) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	502
Abb. G.2:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in Schacht Asse 1 (su) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	502
Abb. G.3:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in Schacht Asse 3 (su, z3r) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	503
Abb. G.4:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H24b (so) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	503
Abb. G.5:	Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H1 (mu) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	504
Abb. G.6:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H14 (mu) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	504
Abb. G.7:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H23 (mu) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	505
Abb. G.8:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P16 (mu) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	505
Abb. G.9:	Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM PN1-FP (mu; oben) und PN1-TP (mu; unten) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	506
Abb. G.10:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM PN2-FP (mu; oben) und PN2-TP (mu; unten) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	507
Abb. G.11:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM R5 (mu) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	508
Abb. G.12:	Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM R6 (mu) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	508
Abb. G.13:	Ganglinien und der Temperatur der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM R7 (mu) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	509
Abb. G.14:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM R8 (mu) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	509
Abb. G.15:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H6 (mm) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	510



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 20 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Abb. G.16:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H16 (<i>mm</i>) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	510
Abb. G.17:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P13 (<i>mm, so</i>) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	511
Abb. G.18:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P9 (<i>km</i>) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	511
Abb. G.19:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P17 (<i>km</i>) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	512
Abb. G.20:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P15 (<i>ko</i>) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	512
Abb. G.21:	Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe des Diver-Druckaufnehmers in der GWM H7 (<i>ju</i>) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	513
Abb. G.22:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H9 (<i>ju</i>) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	513
Abb. G.23:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H5 (<i>so, z3r</i>) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	514
Abb. G.24:	Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H17 (Subrosionsgerinne am Salzspiegel) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).	514
Abb. G.25:	Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2012.	518
Abb. G.26:	Semilogarithmische Abflussganglinie basierend auf Tageswerten des Abflusses der Altenau am Pegel Wendessen für das hydrologische Jahr 2012 (Datenbasis: NLWKN).	520
Abb. G.27:	Summe der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 637-m- und 658-m-Sohle in der Südflanke der Schachanlage Asse II (hydrologisches Jahr 2012).	521
Abb. G.28:	Summe der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 725-m- und 750-m-Sohle in der Südflanke der Schachanlage Asse II (hydrologisches Jahr 2012).	522
Abb. G.29:	Gesamtsumme der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 637-m- und 658-m-Sohle sowie der 725-m- und 750-m-Sohle in der Südflanke der Schachanlage Asse II (hydrologisches Jahr 2012).	522



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 21 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 2.1:	Stratigraphie, Lithologie und hydrogeologische Charakterisierung der Schichtfolge des Asse-Höhenzuges; modifiziert nach (nach [GSF 1994], [Ercosplan 2004]).....	36
Tab. 2.2:	Detaillierte Schichtfolge und hydrogeologische Charakterisierung des Muschelkalk und Buntsandstein im Bereich des Asse-Höhenzuges (nach [GSF 1994], [Colenco 2006]).....	37
Tab. 2.3:	Abflussdaten und Wasserbilanz ausgewählter Vorfluter sowie klimatische Wasserbilanz und GW-Neubildung der entsprechenden Einzugsgebiete nach [GSF 1994]. Die Lage der vier Vorfluter-Messstellen ist in Abb. 2.3 wiedergegeben.	39
Tab. 3.1:	Übersicht der im hydrogeologischen Messnetz in den Jahren 2002 bis 2011 erfassten H- und P-Grundwassermessstellen mit Angabe der erschlossenen geologischen Formation(en) und der Charakteristik der Filterstrecken.	51
Tab. 3.2:	Übersicht der im hydrogeologischen Messnetz in den Jahren 2002 bis 2011 erfassten R- und PN-Grundwassermessstellen sowie der Schächte und Brunnen mit Angabe der erschlossenen geologischen Formation(en) und der Charakteristik der Filterstrecken.....	53
Tab. 3.3:	Geologisch-hydrogeologische Charakterisierung der GWM und Schächte des hydrogeologischen Untersuchungsprogramms. Zu den PN-Bohrungen sowie zu Schacht Asse 3 lagen keine Daten zu hydraulischen Untersuchungen vor.	54
Tab. 3.4:	Übersicht über die in den Jahren 2010 und 2011 beprobten Messstellen „M“ am Asse-Höhenzug. Die Lokalität der Messstellen ist in Abb. 3.1 dargestellt.	56
Tab. 4.1:	Dichtekorrekturterme für die GWM des Asse-Deckgebirges.	67
Tab. 4.2:	Einbaudaten der Seba- und Diver-Druckaufnehmer in den GWM.....	69
Tab. 4.3:	Charakteristik der Wasserspiegel-Abfallereignisse in Schacht Asse 1.....	76
Tab. 4.4:	Zusammenstellung der mittels visueller Analyse bestimmten Trends und Reaktionen der Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe in den GWM.	135
Tab. 4.5:	Extremwerte der Wasserspiegel unter Messpunkt („WSP“) und Süßwasserdruckspiegelhöhen („FWH“) in den H-Messstellen des Asse-Höhenzuges für die gesamte Zeitreihe seit Beginn der Messungen sowie für die hydrologischen Jahr 2002 bis 2011 (Daten der Seba-Druckaufnehmer).....	139
Tab. 4.6:	Extremwerte der Wasserspiegel unter Messpunkt („WSP“) und Süßwasserdruckspiegelhöhen („FWH“) in den P- und R-Messstellen des Asse-Höhenzuges sowie in Schacht Asse 1 und 3 für die gesamte Zeitreihe seit Beginn der Messungen sowie für die hydrologischen Jahr 2002 bis 2011 (i.W. Daten der Seba-Druckaufnehmer).	140
Tab. 4.7:	Trendparameter der Süßwasserdruckspiegelhöhen für den Zeitraum der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011, basierend auf linearer Regression.	147
Tab. 4.8:	Zeitlicher Mittelwert und Standardabweichung des stochastischen Anteils $y_s(t_i)$ der Süßwasserdruckspiegelhöhe in den GWM P16 und R7 auf Basis der entsprechenden 15min-Werte.....	156
Tab. 4.9:	Funktionalität der Druckaufnehmersysteme in den Messstellen des hydrogeologischen Messnetzes für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011.	186
Tab. 5.1:	Monats- und Jahressummen sowie Mittelwerte der nicht korrigierten Niederschlagssummen der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 im Vergleich zu Daten des [DWD 2001].	200
Tab. 5.2:	Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011.	202
Tab. 5.3:	Darstellung der Tage mit Temperaturmittelwerten $<0\text{ }^\circ\text{C}$ und $>25\text{ }^\circ\text{C}$, der Kältesummen, der Starkregenereignisse und der Niederschlagstage der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 für die meteorologischen Station bei Schacht Asse 2.	203



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 22 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 5.4:	Vergleich der nicht korrigierten jährlichen Niederschlagssummen und der Jahresmitteltemperaturen mit den entsprechenden Werten der Zeitreihen aus [DWD 2001] für die meteorologischen Station bei Schacht Asse 2.	204
Tab. 5.5:	Vergleich der nicht korrigierten mittleren monatlichen Niederschlagssummen der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für die Jahre 2002 bis 2011 bzw. weiterer Messstationen in der Region nach [DWD 2001].	206
Tab. 5.6:	Vergleich der korrigierten mittleren monatlichen Niederschlagssummen der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 mit Daten weiterer DWD-Stationen in der Region nach [DWD 2001].	207
Tab. 5.7:	Vergleich der mittleren monatlichen Lufttemperatur der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für die Jahre 2002 bis 2011 mit Daten weiterer DWD-Stationen in der Region [DWD 2001].	208
Tab. 5.8:	Empirische spezifische Monatskoeffizienten x (dimensionslos) für unbewachsenen Boden nach [Haude 1955] sowie für Buchenbestand nach [Häckel 1999].	210
Tab. 5.9:	Mittlere monatliche potentielle Evapotranspiration berechnet nach [Haude 1995] mit den Monatskoeffizienten für unbewachsenen Boden in Tab. 5.8 auf Basis der Daten der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2.	210
Tab. 5.10:	Mittlere monatliche potentielle Evapotranspiration berechnet nach [Haude 1955] mit den Monatskoeffizienten für Buchenbestand in Tab. 5.8 auf Basis der Daten der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2.	211
Tab. 5.11:	Mittlere Monats- und Jahreswerte der korrigierten Niederschlagshöhen und der berechneten realen Evapotranspiration für die Bestandsarten Ackerland, Nadelwald, Laubwald und Feuchtgebiete gemäß [DWD 2001] für den Zeitraum 1990 bis 1999.	212
Tab. 5.12:	Schüttungen bzw. Abflussraten der Quellen und Teichabläufe nach [GSF 2003; 2004].	215
Tab. 5.13:	Abflussraten der M-Messstellen an der Altenau [GSF 2003; GSF 2004].	216
Tab. 5.14:	Abflussraten der Vorfluter-Messstellen im Gebiet des Asse-Höhenzuges und Umgebung (ohne Altenau) nach [GSF 2003; GSF 2004].	217
Tab. 5.15:	Abflussraten der M-Messstellen nach [Seidel 2011a].	218
Tab. 5.16:	Gewässerkundliche Hauptwerte der Altenau am Pegel Wendessen für die Zeitreihe 1964 bis 2010.	219
Tab. 6.1:	Vergleich der GW-Neubildungsraten („GWN“) nach Angaben in [GSF 1994] und [Stein 1999] mit Werten die für das jeweilige Einzugsgebiet mit dem GROWA06v2-Modell ermittelt wurden.	231
Tab. 7.1:	Wasserspiegelhöhen der Stichtagsmessungen 1986 und 1989 sowie für den Grundwassergleichenplan in [Colenco 2006] verwendeter Wasserspiegelhöhe im Vergleich zu den Wasserspiegelhöhen am 01.09.2011 in den GWM.	235
Tab. 8.1:	Analyseverfahren, Einheiten und Bestimmungsgrenzen für die Bestimmung der physikalisch-chemischen Parameter im Labor der K-UTEC Salt Technologies.	241
Tab. 8.2:	Analyseverfahren, Einheiten und Bestimmungsgrenzen für die Hauptinhaltsstoffe des Wassers im Labor der K-UTEC Salt Technologies.	242
Tab. 8.3:	Analyseverfahren, Einheiten und Bestimmungsgrenzen für die Begleitstoffe des Wasser im Labor der K-UTEC Salt Technologies.	242
Tab. 8.4:	Analyseverfahren, Einheiten und Bestimmungsgrenzen für die Spurenstoffe des Wassers im Labor der K-UTEC Salt Technologies.	243
Tab. 8.5:	Analyseverfahren, Einheiten und Bestimmungsgrenzen für die im Wasser gelösten Gase im Labor von K-UTEC Salt Technologies.	244
Tab. 8.6:	Plausibilitäten aufgrund von Parameterkonzentrationen [Hölting & Coldeway 2008].	247
Tab. 8.7:	Grundwasserklassifizierung nach dem Gesamtlösungsinhalt [Freeze & Cherry 1979].	247



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 23 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 8.8:	Obergrenzen bzw. Ober- und Untergrenzen der natürlichen, ubiquitär überprägten Grundwasserbeschaffenheit für verschiedene Festgesteinseinheiten gemäß [Kunkel et al. 2004] sowie Grenzwerte der Trinkwasserverordnung [TWVO 2011].	249
Tab. 8.9:	Volumetrische Anteile der gelösten Gase in den Wässern der GWM des Asse-Höhenzuges (Probennahme April-Mai 2010).	306
Tab. 8.10:	Volumetrische Anteile der gelösten Gase in den Wässern der GWM des Asse-Höhenzuges (Probennahme September 2010 bis Oktober 2011).	307
Tab. 8.11:	Volumetrische Anteile der gelösten Gase in den Wässern der M-Messstellen des Asse-Höhenzuges (Probennahme August 2010 bis September 2011).	308
Tab. 8.12:	Zusammenfassung der Kategorien der Ionenbilanzfehler (IBF) der GWM für die Probennahmekampagnen der Jahre 2002 bis 2011.	309
Tab. 8.13:	Zusammenfassung der Kategorien der Ionenbilanzfehler (IBF) der Quellen und Vorfluter (M-Messstellen) für die Probennahmekampagnen der Jahre 2002 bis 2011.	310
Tab. 8.14:	Sauerstoffgehalte der Quellen und Vorfluter nach Daten der Probennahmekampagne 2010/11.	318
Tab. 8.15:	Zusammenfassende Darstellung der Typisierung und des berechneten Lösungsgehaltes (TDS _{calc}) sowie der Klassifizierung der Wässer aus den GWM anhand der Analysendaten aus den Jahren 2002 bis 2011.	324
Tab. 8.16:	Zusammenfassende Darstellung der Typisierung und des berechneten Lösungsgehaltes (TDS _{calc}) sowie der Klassifizierung der Wässer der Quellen und Vorfluter anhand der Analysendaten aus den Jahren 2002 bis 2011.	325
Tab. 9.1:	Kompilation der technischen Ausbaudaten und der Isotopenmesswerte der Proben die ¹⁴ C-Aktivitäten von mehr als 120 pMC aufweisen.	356
Tab. 9.2:	Ergebnisse einer Modellierungsreihe der initialen ¹⁴ C-Aktivitäten mittels NETPATH und resultierende ¹⁴ C-Modellalter.	360
Tab. 9.3:	Arithmetischer Mittelwert der ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr-Verhältnisse des Eluats aus den Festkörperproben [Schmidt 2006].	371
Tab. A.1:	Lokalität und Kurzcharakterisierung der erbohrten lithologischen Abfolge der hydrogeologischen („H“-) Bohrungen des hydrogeologischen Untersuchungsprogramms.	401
Tab. A.2:	Lokalität und Kurzcharakterisierung der erbohrten lithologischen Abfolge der Pegel- („P“-) Bohrungen des hydrogeologischen Untersuchungsprogramms.	402
Tab. A.3:	Lokalität und Kurzcharakterisierung der erbohrten lithologischen Abfolge der tiefen Remlingen- („R“) Bohrungen des hydrogeologischen Untersuchungsprogramms sowie der Schächte und Brunnen auf dem Asse-Höhenzug.	403
Tab. A.4:	Bezeichnung und Charakterisierung der M-Messstellen des Asse-Höhenzuges und der umliegenden Gebiete nach [Seidel 2011a].	404
Tab. A.5:	Lokalität der M-Messstellen des Asse-Höhenzuges und der umliegenden Gebiete nach [GSF 1994] und [Seidel 2011a].	413
Tab. D.1:	Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2002.	451
Tab. D.2:	Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2003.	452
Tab. D.3:	Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2004.	453
Tab. D.4:	Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2005.	454
Tab. D.5:	Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2006.	455
Tab. D.6:	Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2007.	456
Tab. D.7:	Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2008.	457
Tab. D.8:	Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2009.	458
Tab. D.9:	Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2010.	459



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 24 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. D.10:	Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2011.	460
Tab. E.1:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H3 (2003-2010).	461
Tab. E.2:	Hydrochemische Analysendatensätze für Schacht Asse 1 (2003-2011).	462
Tab. E.3:	Hydrochemische Analysendatensätze für Schacht Asse 3 (2004-2011).	463
Tab. E.4:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM 24b (2002-2003).	464
Tab. E.5:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H1 (2003-2007).	467
Tab. E.6:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H14 (2003-2010).	468
Tab. E.7:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H23 (2003-2010).	469
Tab. E.8:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM P16 (2003-2010).	470
Tab. E.9:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM PN1 und PN2 (2010).	471
Tab. E.10:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM R5 (2002-2010).	472
Tab. E.11:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM R6 (2002-2005).	473
Tab. E.12:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM R7 (2002-2010).	474
Tab. E.13:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM R8 (2002-2010).	475
Tab. E.14:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H6 (2003-2010).	476
Tab. E.15:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H16 (2002-2010).	477
Tab. E.16:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM P13 (2002-2010).	478
Tab. E.17:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H2 (2004).	479
Tab. E.18:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM P17 (2003-2010).	480
Tab. E.19:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM P9 (2007 und 2010).	481
Tab. E.20:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM P15 (2003-2010).	482
Tab. E.21:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H7 (2003 und 2010).	483
Tab. E.22:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H9 (2003-2010).	484
Tab. E.23:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H5 (2002-2010).	485
Tab. E.24:	Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H17 (2002-2010).	486
Tab. E.25:	Hydrochemische Analysendatensätze der Quellen M10 (2010) und M17 (2010).	487
Tab. E.26:	Hydrochemische Analysendatensätze der Quellen M2 (2010), M15 (2004 und 2010), M20 (2004 und 2010) und M21 (2004 und 2010).	488
Tab. E.27:	Hydrochemische Analysendatensätze der Quellen und Vorfluter M25 (2003-2010), M63 (2003-2011) und M305 (2003 und 2011).	489
Tab. E.28:	Hydrochemische Analysendatensätze der Ammerbeek-Vorflutermessstelle M401 (2010) und des Teichs im Tal von Wittmar (2010).	490
Tab. F.1:	Probenliste für das Jahr 2010 der Probennahmekampagne 2010/2011 mit Bezeichnung, Datum, laufender Nummer (BfS) und den analysierten Isotopensystemen.	491
Tab. F.2:	Probenliste für das Jahr 2011 der Probennahmekampagne 2010/2011 mit Bezeichnung, Datum, laufender Nummer (BfS) und den analysierten Isotopensystemen.	492
Tab. F.3:	Probenliste der Probennahmekampagne 2012 mit Bezeichnung, Datum, laufender Nummer (BfS) und den analysierten Isotopensystemen.	492
Tab. F.4:	Ergebnisse der Tritium und Edelgasanalysen der Wasserproben aus den hydrogeologischen Messstellen des Asse-Höhenzuges (2010/2011).	493
Tab. F.5:	Ergebnisse der Tritium und Edelgasanalysen der Wasserproben aus den hydro- geologischen Messstellen des Asse-Höhenzuges (2010/2011).	494
Tab. F.6:	Ergebnisse der Kohlenstoffisotopenanalysen (¹⁴ C-Aktivität; konventionelle ¹⁴ C-Alter; δ ¹³ C- Werte aus den AMS- und IRMS-Messungen) für die Wasserproben aus den GWM des Asse-Höhenzuges (2010/2011).	495



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 25 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. F.7:	Ergebnisse der Kohlenstoffisotopenanalysen (^{14}C -Aktivität; konventionelle ^{14}C -Alter; $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aus den AMS- und IRMS-Messungen) für die Wasserproben aus den M-Messstellen des Asse-Höhenzuges (2010/2011).	496
Tab. F.8:	Ergebnisse der Wasserisotopenanalysen für die GWM (2010-2011).....	497
Tab. F.9:	Ergebnisse der Wasserisotopenanalysen für die M-Messstellen (2010/2011).....	498
Tab. F.10:	Ergebnisse der Wasserisotopenanalysen für die an der Zutrittsstelle L658008 auf der 658-m-Sohle gefasste Zutrittslösung im Asse-Grubengebäude. $\delta^2\text{H}$ wurde durch H_2 -Äquilibrierung und IRMS, $\delta^{18}\text{O}$ durch CO_2 -Äquilibrierung und IRMS gemessen.....	498
Tab. F.11:	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse, 2σ -Standardfehler und Sr-Gehalte der Grundwässer aus den GWM des Asse-Höhenzuges (2010/2011).	499
Tab. F.12:	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse, 2σ -Standardfehler und Sr-Gehalte der Wässer aus den M-Messstellen des Asse-Höhenzuges (2010/2011).	499
Tab. G.1:	Extremwerte der Wasserspiegel unter Messpunkt („WSP“) und Süßwasserdruckspiegelhöhen („FWH“) in den H-Messstellen des Asse-Höhenzuges für die gesamte Zeitreihe seit Beginn der Messungen sowie für das hydrologische Jahr 2012 (i.W. Daten der Seba-Druckaufnehmer).	515
Tab. G.2:	Extremwerte der Wasserspiegel unter Messpunkt („WSP“) und Süßwasserdruckspiegelhöhen („FWH“) in den P- und PN-Messstellen des Asse-Höhenzuges für die gesamte Zeitreihe seit Beginn der Messungen sowie für das hydrologische Jahr 2012 (Daten der Seba- bzw. Diver-Druckaufnehmer).	516
Tab. G.3:	Extremwerte der Wasserspiegel unter Messpunkt („WSP“) und Süßwasserdruckspiegelhöhen („FWH“) in den R-Messstellen des Asse-Höhenzuges sowie in Schacht Asse 1 und 3 für die gesamte Zeitreihe seit Beginn der Messungen sowie für das hydrologische Jahr 2012 (i.W. Daten der Seba-Druckaufnehmer).....	517
Tab. G.4:	Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2012.	519



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 26 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
DOC	Dissolved organic carbon = gelöster organischer Kohlenstoff (Einheit: mg/l)
DWD	Deutscher Wetterdienst
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.
Eh	Redoxpotential (Einheit: mV)
GOK	Geländeoberkante
GSF	Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung
GW-Beschaffenheit	Grundwasserbeschaffenheit
GW-Leiter	Grundwasserleiter
GW-Geringleiter	Grundwassergeringleiter
GWM	Grundwassermessstelle
GW-Neubildung	Grundwasserneubildung
GW-Oberfläche	Grundwasseroberfläche
GW-Gleichen	Grundwassergleichen
HMGU	Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LBEG	Niedersächsisches Landesamt für Landwirtschaft, Bergbau, Energie und Geologie
LF	Spezifische elektrische Leitfähigkeit (Einheit: mS/cm oder μ S/cm)
mNN	Meter über Normal-Null
nFK	Nutzbare Feldkapazität (Einheit: Vol.-%)
NLWKN	Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
TDS	Total dissolved solids = Gesamtlösungsinhalt (Einheit mg/l)



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 27 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Das Deckgebirge der Salzstruktur Asse ist eine wesentliche Komponente des „Gesamtsystems Schachanlage Asse II“. Es bestimmt zum einen die gebirgsmechanischen, hydrogeologischen und geochemischen Einflüsse auf die Salzstruktur und – aufgrund der bestehenden hydraulischen Kontakte – auch auf das Grubengebäude. Zum anderen wirkt es als Barriere gegen die Ausbreitung von Schadstoffen aus der Grube und gegen deren Transport in die Biosphäre, sofern solche als Folge eines Störfalls aus der Schachanlage austreten sollten. Die zuverlässige und belastbare Charakterisierung des Deckgebirges ist deshalb ein wichtiger Bestandteil der Beurteilung des Gesamtsystems in Bezug auf die Langzeitsicherheit.

Gegenstand des vorliegenden Berichts ist die Darstellung der hydrogeologischen und geochemischen Verhältnisse im Deckgebirge, wie sie sich aus der Standortüberwachung ergeben. Die primäre Zielsetzung ist dabei die Kompilation der verfügbaren Daten und die Identifikation von eventuellen Informationslücken. Die Synthese der Informationen zu einem oder mehreren konzeptuellen Modellen für die hydrogeologischen Verhältnisse im Deckgebirge ist nicht Ziel des vorliegenden Berichts. Die Interpretation der Daten beschränkt sich entsprechend auf Plausibilitätsprüfungen, wobei die Abgrenzung gegen die ersten Schritte der Entwicklung eines Konzeptmodells nicht immer scharf ist.

Die wesentlichen Aufgaben der hydrologischen und hydrogeologischen Standortüberwachung im Deckgebirge der Salzstruktur Asse sind:

- Die hydrologischen und hydrogeologischen Daten dienen als Basis für die Charakterisierung und Beschreibung der Grundwasserdynamik im Deckgebirge der Salzstruktur Asse im Hinblick auf die Entwicklung eines konzeptuellen Grundwassermodells (z.B. [Colenco 2006]). Das konzeptuelle Grundwassermodell bildet seinerseits die Grundlage für die Durchführung von numerischen Modellrechnungen für quantitative Sicherheitsbeurteilungen des Gesamtsystems (z.B. [AF-Colenco 2009]).
- Die kontinuierliche Überwachung der hydrologischen und hydrogeologischen Daten, insbesondere der Grundwasserstände in den Messstellen und der hydrochemischen Beschaffenheit von Grund- und Oberflächenwasser in räumlicher Nähe zum Grubengebäude, soll Veränderungen der Grundwasserdynamik möglichst frühzeitig erfassen und dadurch einen Hinweis auf mögliche Änderungen der Einflüsse von außen auf das Grubengebäude oder der Auswirkungen des Grubengebäude auf das Deckgebirge vermitteln.

Das konkrete Ziel dieses Berichtes ist die Darstellung der vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und der vom vorherigen Betreiber (HMGU) erhobenen hydrologischen und hydrogeologischen Daten im Deckgebirge der Salzstruktur Asse für den Zeitraum von 10 Jahren, der die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 umfasst. Diese Daten sollen zudem in Bezug gesetzt werden zu den Ergebnissen des von 1968 bis 1994 durchgeführten „Hydrogeologischen Forschungsprogramms Asse“ [GSF 1994] und der daran anschließend durchgeführten hydrologischen und hydrogeologischen Standortüberwachung im Umfeld der Schachanlage Asse II. Weiterhin enthält dieser Bericht die im hydrologischen Jahr 2012 erhobenen Daten als Anlage und soll die Ausgangsbasis für ein geplantes, jährliches Berichtswesen darstellen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 28 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

2 STANDORT-KURZBESCHREIBUNG

2.1 GEOGRAPHISCHER ÜBERBLICK

2.1.1 Lage und Geomorphologie

Der überwiegend bewaldete, Nordwest-Südost-streichende Höhenzug der Asse (Abb. 2.1) und der sich in südöstlicher Richtung anschließende Heeseberg liegen im Übergangsbereich zwischen dem nördlichen Harzvorland und der norddeutschen Tiefebene, etwa 16 km südöstlich von Braunschweig. Dieser Höhenzug, der sich mit einer Höhe von bis zu 230 mNN deutlich über das flache Umland mit Höhen zwischen 100 mNN bis 120 mNN erhebt, ist umgeben von weiteren ähnlichen Höhenzügen, wie dem Elm im Norden sowie dem Großen und Kleinen Fallstein und dem Harli in südsüdöstlicher bzw. südsüdwestlicher Richtung. Seine Entstehung verdankt der Asse-Heeseberg Höhenzug – wie auch die umgebenden Höhenzüge – dem Aufstieg von Salinargesteinen des Perm (Zechstein) aus dem tieferen Untergrund, der zur Bildung einer Antiklinalstruktur geführt hat, die auch morphologisch eine Hochlage einnimmt.

Der gesamte Asse-Heeseberg-Höhenzug ist in seiner Nordwest-Südost-Ausdehnung ungefähr 25 km lang. Davon weist der eigentliche Asse-Höhenzug eine Länge von etwa 11 km und eine Breite von etwa 2 km auf (Abb. 2.1). Er wird durch die Ortschaften Groß Denkte im Nordwesten und Klein Vahlberg im Südosten begrenzt. Im Nordosten grenzt die Asse an die Schöppenstedter Mulde mit der Talniederung der Altenau und den Ortschaften Mönchevahlberg und Groß Vahlberg. Im Südwesten grenzt sie an die Remlinger Mulde mit den Orten Remlingen und Wittmar. Der Asse-Höhenzug erreicht Höhen von durchschnittlich 200 mNN. Dabei sind die höchsten Erhebungen des Höhenzuges die Remlinger Herse mit 234 mNN und der Festberg mit 231 mNN im nordwestlichen Teilbereich. Im Verlauf der Asse bis zum Heeseberg flacht der Höhenzug in seiner Mitte merklich ab und erreicht bei Barnstorf, wo ihn auch der Flusslauf der Soltau quert, nur noch Höhen um 100 mNN, bevor er am Heeseberg wieder auf bis zu 160 mNN ansteigt.

Morphologisch ist der Asse-Höhenzug durch drei prominente, im Streichen der Struktur verlaufende Längsrippen und zwei, diese Längsrippen trennende Längstäler, gegliedert. Diese morphologische Gliederung resultiert aus der geologischen Struktur des Deckgebirges über den Salinargesteinen des Zechstein.

Die nördliche und südliche Rippe (Festberg und Asseburgberg) ist von kammartigem Charakter und wird jeweils von verwitterungsresistenten steilstehenden Kalken der Mittleren Trias (Unterer Muschelkalk) gebildet. Dahingegen ist die mittlere Rippe, durch Kerbtäler getrennt, zu mehreren Kuppen erodiert (Vorderer, Mittlerer, Hinterer Eichberg, Röhrberg, Rothenberg, Watzenberg) und besteht aus gegeneinander verkippten Schollen der Unteren Trias (Unterer und Mittlerer Buntsandstein) [Frank 1974].



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 29 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Im südwestlichen Längstal grenzen nach [GSF 1994] die nach Nordosten einfallenden relativ verwitterungsbeständigen Ton- und Sandsteine des Unteren Buntsandstein der Nordost-Flanke an eine von gegeneinander verstellten Schollen des Unteren und seltener auch des Mittleren Buntsandsteins. Nach [GSF 1994] führen die durch die Subrosion ausgelösten tektonischen Bewegungen zur Zerlegung des Deckgebirges in Buntsandsteinschollen (sogenanntes verstütztes Deckgebirge) sowie – in jüngerer Zeit – zu zahlreichen Erdfällen und Dolinen. Das nordöstliche Längstal hingegen entstand als Folge der Erosion und Subrosion der Ton- und Salinargesteine des Oberen Buntsandstein der Nordflanke [GSF 1994]. Senkrecht und diagonal zur Streichrichtung des Asse-Höhenzuges finden sich weitere Taleinschnitte, wie z.B. das Tal des Rothebachs und der Ammerbeek und das Quertal südlich von Groß Vahlberg, die nach [GSF 1994] jeweils Störungssysteme im Untergrund nachzeichnen.

Die sich an die Antiklinale der Asse-Struktur anschließenden Synklijinalstrukturen im Nordosten (Schöppenstedter Mulde) und Südwesten (Remlinger Mulde) werden i.W. von annähernd horizontal gelagerten, mehreren hundert Meter mächtigen Abfolgen von Kreide- und Jurasedimenten gebildet, welche die triassischen Sedimente dort überlagern.



Sachstandsbericht Hydrogeologie

Bundesamt für Strahlenschutz

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	22100000	HGG	R	0003	00

B1785395

Seite: 30 von 522

Stand: 27.08.2014

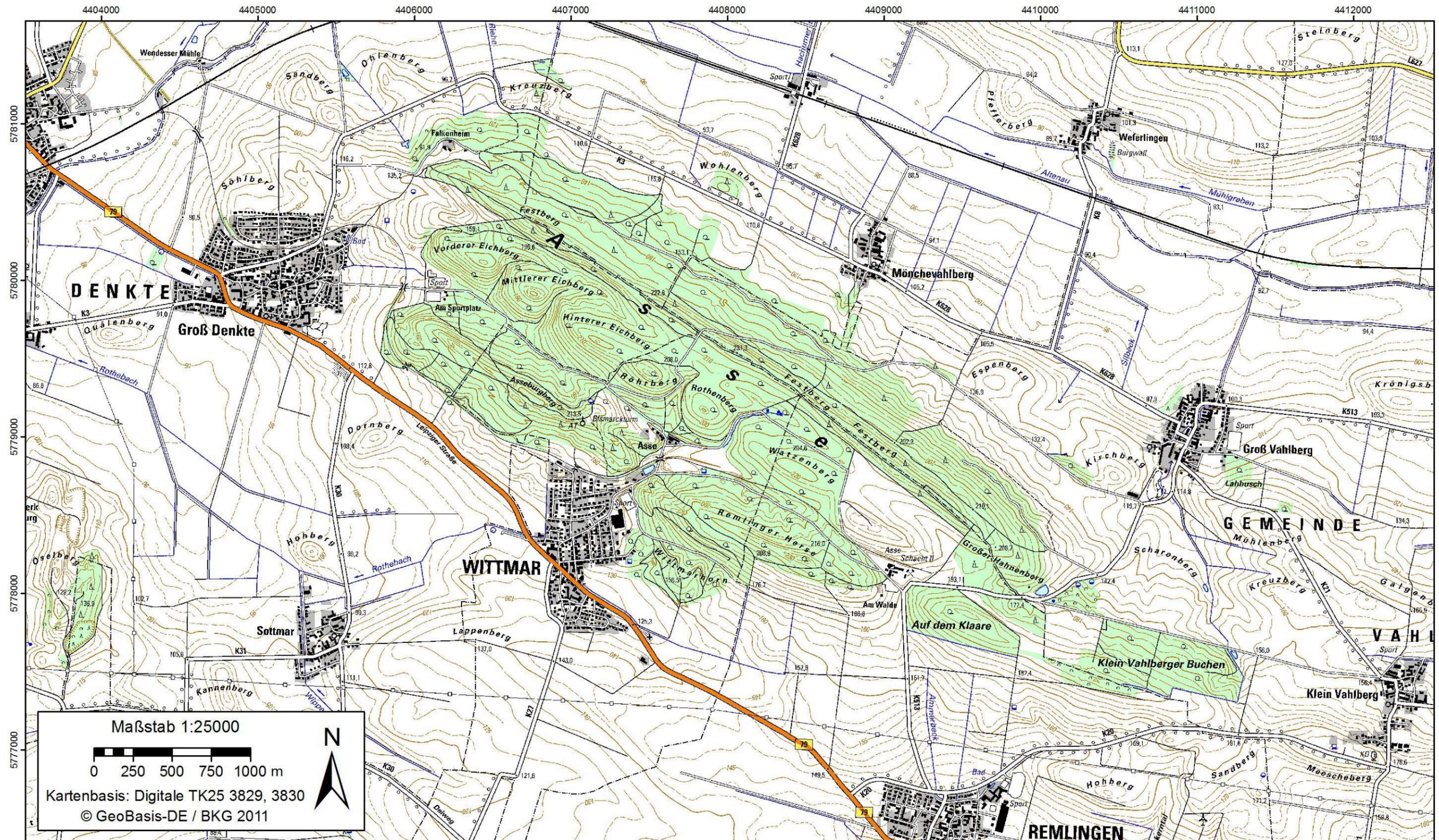


Abb. 2.1: Topographische Übersichtskarte des Asse-Höhenzuges.

				Schachtanlage Asse II Sachstandsbericht Hydrogeologie			
Bundesamt für Strahlenschutz							
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 31 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

2.1.2 Böden, Vegetation und Landnutzung

Das Untersuchungsgebiet gehört nach der naturräumlichen Gliederung zum Ostbraunschweigischem Hügelland. Dieser Naturraum wird dominiert von großflächigen Ackerfluren, die in den lössreichen Senken oftmals auch als Bördenlandschaft bezeichnet werden. Insbesondere die Braun-, Parabraun- und Schwarzerdeböden, die sich aus periglazialen Lössakkumulationen über wasserstauenden Geschiebemergeln und -tonen entwickelt haben, dienen seit Jahrhunderten als fruchtbare Ackerböden.

Dahingegen werden die überwiegend bewaldeten Kuppen und Hänge des Asse-Höhenzuges zu meist forstwirtschaftlich und zur Naherholung genutzt. In den Wäldern der Asse stehen überwiegend Laub- und Edellaubhölzer wie Rotbuchen und Eichen. Auf den flachgründigen Böden der Kämmen finden sich zudem kleinere Parzellen mit Nadelgehölzen (v.a. Lärchen, Kiefern, Fichten). Einzelne Flächen, wie z.B. die ehemaligen Betriebsgelände der Schachtanlagen Asse I und III, werden als Wiese oder Weideflächen genutzt oder liegen brach. Im Bereich der Salzquellen bei Groß Denkte existieren zudem kleinräumig halophile Pflanzengesellschaften und Salzwiesen, und in der Gegend von Barnstorf gibt es lokal Salzmoore entlang von diffusen Austritten leicht versalzten Grundwassers [Höhne 1911].

Gemäß der digitalen nutzungsdifferenzierten Bodenkundlichen Übersichtskarte 1:50 000 (BÜK50n) von Niedersachsen [Boess et al. 2004], die vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) veröffentlicht wird, folgt die Zonierung der Bodentypen weitestgehend der dreigliedrigen Rippenstruktur des Höhenzuges. Im zentralen Bereich befinden sich über den Sand- und Siltsteinen des Buntsandstein Braunerden aus periglazialen Schluffdecken. In den Ton-, Sand- und Mergelsteinen des Keuper haben sich vorwiegend Pelosole entwickelt, während die Kalk- und Mergelsteine der Muschelkalkrippen typische Pararendzinen aufweisen. In Hangfußbereichen und in den Hangmulden liegt durch den Einfluss dichter Unterbodenlagen zeitweilig gestautes Niederschlagswasser vor. Der Wasserstau lässt z. B. aus Parabraunerden einen temporär durch Stauwasser beeinflussten Boden entstehen, den Pseudogley [Blume et al. 2010].

Im sich an die bewaldeten Flächen des Asse-Höhenzuges anschließenden Umland konnten sich in den Taleinschnitten und den Niederungen der Schöppenstedter und Remlinger Mulde durch periglaziale Akkumulationen von Lösslehmen über glaziofluvialen Sanden und Tonsteinen agrarwirtschaftlich wertvolle Braunerden, Parabraunerden und Pseudogley-Schwarzerden ausbilden. Die Hauptanbauprodukte auf diesen Böden sind Getreide verschiedener Arten, Raps, Zuckerrüben, Kartoffeln und verschiedene Kohlarten.

2.1.3 Klimatische Verhältnisse

Großräumig ist das Untersuchungsgebiet der gemäßigten Klimazone Mitteleuropas im Bereich der Westwindzone zuzuordnen und liegt im Übergang zwischen dem maritimen Klima in Westeuropa und dem kontinentalen Klima in Osteuropa [DWD 1964; Müller-Westermeier et al. 1999]. Aufgrund der Entfernung zum Atlantik ist die Region um den Asse-Höhenzug im südlichen Niedersachsen bereits deutlich kontinentaler beeinflusst als die Gebiete im nördlichen Teil dieser Klimazone. Dies zeigt sich an typischen sommerlichen Schauern („Konvektivregen“), längeren Trockenperioden,

 Bundesamt für Strahlenschutz				Schachtanlage Asse II Sachstandsbericht Hydrogeologie			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 32 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

stärkeren Temperaturunterschieden zwischen Sommer- und Winterhalbjahr sowie an geringeren und jahreszeitlich ungleich verteilten Niederschlägen.

Für die Charakterisierung des lokalen Klimaregimes im Gebiet des Asse-Höhenzuges kann zum einen die mittlerweile von der Asse-GmbH betriebene meteorologische Station bei Schacht Asse 2 herangezogen werden. Darüber hinaus können Daten der meteorologischen Stationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in Wolfenbüttel, Salzgitter und Braunschweig-Völkenrode verwendet werden.

Für die Zeitreihe von 1911 bis 1990 ist in [GSF 1994] auf Basis der meteorologischen Station bei Schacht Asse II ein Wert von 602 mm/a als langjähriges Niederschlagsmittel angegeben. Die Niederschläge haben ihr Maximum in den Monaten Mai bis August (Sommermaximum) mit einem weiteren kleineren Nebenmaximum im Winter [Frank 1974; GSF 1994]. Im Vergleich dazu ist in [DWD 2001] für die im Zeitraum 1961 bis 1990 gefallenen Niederschläge am Asse-Höhenzug ein langjähriges Mittel von 586 mm angegeben (Daten ebenfalls an der meteorologischen Station bei Schacht Asse II erhoben). Die mittlere Lufttemperatur im Bereich des Asse-Höhenzuges wird in [GSF 1994] für den Zeitraum 1968 bis 1990 mit 9,1 °C angegeben. Entsprechend [GSF 1994] erreichen die mittleren monatlichen Lufttemperaturen ein Minimum von 0,5 °C im Januar und eine Maximum von 18,1 °C im Juli.

Auf die klimatischen Daten der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für den Zeitraum 2002 bis 2011 wird detailliert in Kap. 5.2 eingegangen (Daten für 2012 in Anhang G).

2.2 GEOLOGISCH-HYDROGEOLOGISCHER ÜBERBLICK

2.2.1 Geologie und tektonische Struktur

Der Asse-Heeseberg-Höhenzug liegt im östlichen Teil der Niedersächsischen Senke, dem Subherzynen Becken, und ist umgeben von paläozoischen Ausläufern des Variszischen Massives im Norden, dem Flechtinger Höhenzug, und dem Harz im Süden. Das gesamte Subherzyne Becken ist eine ca. 50 km breite und 100 km lange asymmetrisch ausgebildete Synklinalstruktur, die mit der größten Einsenkung an ihrem südwestlichem Rand, dem Harznordrand, vorgelagert ist [Ercosplan 2004; Schwandt et al. 2008].

Die Schichtfolge des subherzynischen Beckens umfasst sedimentäre Gesteine des Perm (Rotliegendes, Zechstein), die wiederum von den mächtigen sedimentären Abfolgen der Trias (Buntsandstein, Muschelkalk, Keuper), des Jura und der Kreide sowie lokal von geringmächtigen Sedimenten des Tertiärs und des Quartärs überlagert werden. Insgesamt erreicht das Deckgebirge im Hangenden der Zechsteinabfolge eine Mächtigkeit von bis zu ca. 3,5 km und von bis zu ca. 2 km im Bereich des Asse-Höhenzuges [Ercosplan 2004; Schwandt et al. 2008].

Aufgrund von extensionalen und kompressiven tektonischen Phasen während der Jura- und Kreidezeit stiegen die Salzeinheiten des Zechstein bevorzugt in der Nähe von Störungszonen im variszischen Unterbau auf [Ercosplan 2004; Schwandt et al. 2008]. Dabei entstanden in einer ersten

 Bundesamt für Strahlenschutz				Schachtanlage Asse II Sachstandsbericht Hydrogeologie			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 33 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Phase mit geringen Aufstiegsraten Salzpolster und Salzrücken oder Salzantiklinalen, die mit einer Aufwölbung des Deckgebirges verbunden sind. Bei höheren Aufstiegsraten entstanden daraus schließlich Salzdome, Salzstöcke und Salzwälle mit steilen Wänden, die das Deckgebirge gestört und durchbrochen haben. Teilweise gelangte nach Ansicht von [Schwandt et al. 2008] dabei das Zechsteinsalz bis in das Niveau des Oberen Buntsandstein, teilweise bis zur Quartärbasis oder gar bis an die (sub-)rezente Geländeoberfläche, wie z.B. an der Asse.

An den Flanken der Salinarstrukturen sind die Schichten des Deckgebirges infolge des Salzaufstieges und der späteren „Auspressung“ des Zechsteinsalinar oftmals steil aufgerichtet worden (z.B. Asse, Harli, Elm; [Baldschuhn et al. 1998; Schwandt et al. 2008]). An der Asse-Heeseberg-Struktur wurde dabei nach [Ercosplan 2004] und [Schwandt et al. 2008] in der Nordostflanke die gesamte Schichtenfolge des Deckgebirges bis zu einem Einfallen der Schichten von etwa 45° angehoben (Abb. 2.2). Der Untere Buntsandstein liegt nach Ansicht der genannten Autoren hier konkordant auf dem Zechsteinsalinar und streicht über Tage aus.

An der steil gestellten, mit 70° bis überkippt einfallenden Südwest-Flanke beginnt das Deckgebirge über dem Zechsteinsalinar diskordant mit dem Oberen Buntsandstein [Ercosplan 2004; Schwandt et al. 2008]. Insgesamt stellt der Asse-Höhenzug dementsprechend eine Nordwest-Südost-streichende asymmetrische Antiklinalstruktur mit Südwest-Vergenz dar, bei der die Schichtfolge des Deckgebirges größtenteils an der Oberfläche ausstreicht. Im Kern der Antiklinale sind die salinaren Schichtenfolgen des Zechstein 2, 3 und 4 aufgestiegen, während der Zechstein 1 sowie die basalen, nichtsalinaren Schichtglieder des Zechstein 2 nicht in die halotektonische Faltung einbezogen wurden [Ercosplan 2004; Schwandt et al. 2008].

Der Kontaktbereich zwischen den beiden Flanken ist zum einen durch Bewegungen senkrecht zur Schichtfolge bei dem Aufstieg und der späteren Auspressung des Salinar und zum anderen durch Subrosionsprozesse am Salinar mit nachfolgender Verkippung und Senkung des Deckgebirges tektonisch stark beansprucht worden. Dies hat nach [GSF 1994; Weinberg 1997] im Scheitel der Asse-Struktur zu einer kleinräumigen Zerlegung des Deckgebirges in einzelne Schollen und, in Bereichen in denen das Zechsteinsalinar die Geländeoberfläche erreichte, auch zur Ausbildung von residualen Zechsteinsedimenten geführt.

Ein System von mehreren ca. Nord-Süd streichenden Abschiebungen begrenzt die Asse-Struktur struktureologisch im Nordwesten bei Groß Denkte (der sog. Strukturschluss), während im Südosten die Asse-Struktur in den Heeseberg-Höhenzug übergeht. Weiterhin ist das Deckgebirge der Asse-Struktur von zahlreichen Störungen durchzogen, die sich oftmals morphologisch als Täler zeigen und entsprechend ihrer Streichrichtung relativ zur Asse-Struktur als Quer-, Längs- und Diagonalstörungen benannt werden. Südöstlich der Schachtanlage Asse II trennt nach [GSF 1994] die Diagonalstörung von Groß Vahlberg und jene der Ammerbeek (Ammerbeek-Remlingen) die Asse-Struktur im engeren Sinne von ihrer südöstlichen Fortsetzung ab.

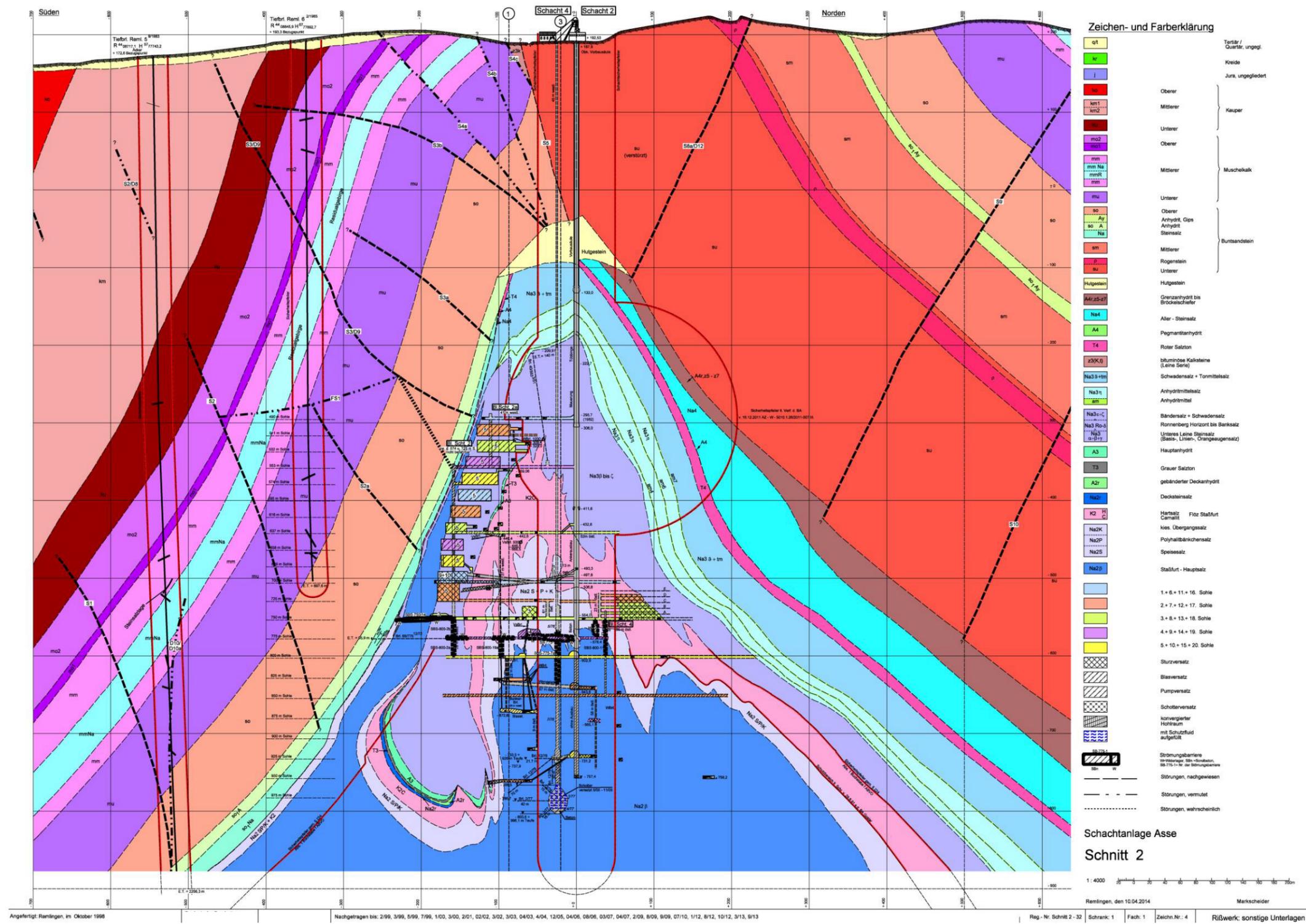


Abb. 2.2: Geologisches Querprofil durch die Asse-Struktur auf der Höhe von Schacht Asse 2 (Quelle: Schnitt 2 des Asse-Risswerks [Asse-GmbH 2014]).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 35 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die jurassischen und kreidezeitlichen sedimentären Abfolgen der sich an die Asse-Struktur anschließenden Synklinalstrukturen im Nordosten (Schöppenstedter Mulde) und Südwesten (Remlinger Mulde) sind tektonisch deutlich geringer beansprucht als die Gesteine in der Asse-Struktur und von geringmächtigen quartären Sedimenten überlagert.

Rezent führten die Auswirkungen der Bergbautätigkeit in der Schachanlage Asse II zu Konvergenzbewegungen der Salzstruktur in den Untertagebauten, zu Spannungsumlagerungen im angrenzenden Deckgebirge und zur Ausbildung von Bereichen mit gebirgsmechanisch aufgelockertem Deckgebirge an der an das Grubengebäude angrenzenden Flanke der Salzstruktur sowie zu Setzungserscheinungen an der Geländeoberfläche [IfG 2009].

2.2.2 Litho- und Hydrostratigraphie

Die Litho- und Hydrostratigraphie im Gebiet des Asse-Höhenzuges ist durch die alternierende Abfolge grundwasserleitender und -geringleitender Schichten charakterisiert (Tab. 2.1; [Frank 1974; GSF 1994; Ercosplan 2004; Colenco 2006]). Entsprechend der lithologischen Ausprägung der Gesteine bewegt sich das Grundwasser dabei vorwiegend auf Klüften und in Karsthohlräumen sowie untergeordnet auch im Porenraum [Colenco 2006]. Bedingt durch die starke tektonische Beanspruchung des Deckgebirges tritt zudem auch eine Grundwasserbewegung entlang von Störungszonen auf [GSF 1994; Colenco 2006; Franzke 2009].

Entsprechend Tab. 2.1 sind nach [GSF 1994] und [Colenco 2006] die wichtigsten GW-Leiter (vom Liegenden zum Hangenden) im Deckgebirge der Asse-Struktur:

- die Rogensteinbänke (*su-p*) der Oberen Bernburg-Folge und der Basissandstein der Solling-Folge (*smS*) des Buntsandstein (Buntsandstein-GW-Leiter),
- der Untere Muschelkalk (*mu*) und teilweise der Obere Muschelkalk (*mo*) (Muschelkalk-GW-Leiter),
- der Rhät-Sandstein des Oberen Keuper (*ko*) und
- die Sandsteinhorizonte des Unteren (*ju*) und Mittleren Jura (*jm*).

Der Buntsandstein der Nordost-Flanke (*su*, *sm*, *so*) weist nach [GSF 1994] und [Colenco 2006] die potentiell wichtigen GW-Leiter Rogenstein (*su-p*), Basissandstein der Solling-Folge (*smS*) und Residualgebirge des Rötanhydrit (*so1A*) auf (Tab. 2.2). In der Südwest-Flanke kommt zwischen dem Zechstein und dem Muschelkalk nur die Schichtfolge des Oberen Buntsandstein (*so*) mit dem Residualgebirge des Rötanhydrit (*so1A*) als potentieller GW-Leiter vor (Tab. 2.2).

Weiterhin enthält das Deckgebirge im Bereich der Südwest-Flanke nach [GSF 1994] und [Colenco 2006] zwei Salzlager von bis 30 m Mächtigkeit, die im Mittleren Muschelkalk (*mmNa*) sowie im basalen Oberen Buntsandstein (*so1Na*) auftreten und von sulfathaltigen Schichten, wie z.B. dem Rötanhydrit (*so1A*), begleitet werden (Tab. 2.2). Sie werden im nicht-subrodierten Zustand als GW-Geringleiter betrachtet. Oberflächennah können sie, je nach Intensität der Grundwasserbewegung, subrodiert sein und dann eine mehr oder weniger mächtige Zone (Residualgebirge) mit einer deutlich höheren hydraulischen Leitfähigkeit ausbilden.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 36 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 2.1: Stratigraphie, Lithologie und hydrogeologische Charakterisierung der Schichtfolge des Asse-Höhenzuges; modifiziert nach (nach [GSF 1994], [Ercosplan 2004]).

Stratigraphie	Kürzel	Lithologie	Hydrogeologische Charakterisierung		Mächtigkeit
Quartär	<i>q</i>	Löß, Lehm, Ton, Sand, Kies, Kalktuff, „Fließerden“	GW-Geringleiter	Sande, Kiese: GW-Leiter	max. ca. 40 m ⁽¹⁾
Schichtlücke: Miozän und Pliozän					
Tertiär (Oligozän)	<i>tolu</i>	Quarzsand, Ton und Silt	Überwiegend GW-Geringleiter	Sande: GW-Leiter	max. ca. 23 m ⁽¹⁾
Schichtlücke: Maastricht bis Eozän					
Oberkreide (Obersanton bis Campan)	<i>kro-sa/ca</i>	Mergelstein (kalk-sandige Einschaltungen), Tonstein	Überwiegend GW-Geringleiter	kalk-sandige Mergel: GW-Leiter	ca. 50 m
Schichtlücke: Mitteluron bis Mittelsanton					
Oberkreide (Cenoman bis Mitteluron)	<i>kroc/t</i>	Kalkstein, Mergelstein	GW-Leiter		ca. 140 m
Unterkreide (Hauterive bis Alb)	<i>kru</i>	Tonstein, Mergelstein, Basis: konglomeratisch	Überwiegend GW-Geringleiter	Konglomerate: GW-Leiter	ca. 320 m
Schichtlücke: Bathon bis Valangin					
Jura (Lias bis unterer Dogger)	<i>ju, jm</i>	Tonstein, Mergelstein (z.T. kalkig), Sandstein	Überwiegend GW-Geringleiter	Sandsteine: GW-Leiter	ca. 470 m
Oberer Keuper (Rhät)	<i>ko</i>	Sandstein	GW-Leiter		50-60 m
Mittlerer Keuper	<i>km</i>	Ton-Mergelstein, Anhydritbänke	GW-Geringleiter		ca. 250 m
Unterer Keuper	<i>ku</i>	Ton-, Silt-, Sand-Mergelstein, Dolomit	Überwiegend GW-Geringleiter	Sandstein: GW-Leiter	ca. 70 m
Oberer Muschelkalk	<i>mo</i>	Kalk-, Mergel- und Tonstein	Teilweise GW-Geringleiter	Überwiegend GW-Leiter	ca. 60 m
Mittlerer Muschelkalk	<i>mm</i>	Dolomit, Mergelstein, Anhydrit, Steinsalz, Gips	Überwiegend GW-Geringleiter	Oberer Teil: GW-Leiter	90-110 m
Unterer Muschelkalk	<i>mu</i>	Kalk-, Mergelstein, Basis-konglomerat	Mergelsteine: GW-Geringleiter	Überwiegend GW-Leiter	ca. 104 m
Oberer Buntsandstein	<i>so</i>	Ton-, Mergelstein mit Anhydrit, Steinsalz	GW-Geringleiter	Residualgebirge: GW-Leiter	ca. 150 m ⁽¹⁾
Mittlerer Buntsandstein (Solling-Folge)	<i>smS</i>	Ton-, Siltstein, Basissandstein	Überwiegend GW-Geringleiter	Basissandstein: GW-Leiter	ca. 54 m
Schichtlücke: Obere Volpriehausen-Folge bis Hardegsen-Folge					
Mittlerer Buntsandstein (Volpriehausen-Folge)	<i>smV</i>	Ton-, Silt- und Sandstein	GW-Geringleiter		ca. 45 m
Unterer Buntsandstein	<i>su</i>	Ton-, Silt-, Sandstein (z.T. Rogensteinbänke su-ρ)	Überwiegend GW-Geringleiter	Rogensteinbänke: GW-Leiter	ca. 300 m

⁽¹⁾ Starke Schwankungen der Mächtigkeit im Untersuchungsgebiet möglich.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 37 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 2.2: Detaillierte Schichtfolge und hydrogeologische Charakterisierung des Muschelkalk und Buntsandstein im Bereich des Asse-Höhenzuges (nach [GSF 1994], [Colenco 2006]).

Formation und Schichtfolge	Hydrogeologische Charakterisierung	
Muschelkalk		
Ceratiten- <i>mo2</i> und Encrinusschichten <i>mo1</i> des Oberen Muschelkalk <i>mo</i>	GW-Leiter, z.T. GW-Geringleiter	
Mergelsteine (z.T.: dolomitisch) (oberer Teil Anhydritgruppe) des Mittleren Muschelkalk <i>mm</i>	GW-Leiter	
Mergel- und Tonsteine (z.T. sulfatreich) (mittlerer Teil Anhydritgruppe) des Mittleren Muschelkalk <i>mm</i>	GW-Geringleiter	
Steinsalz <i>mmNa</i> (unterer Teil Anhydritgruppe), bzw. Residualbildungen <i>mmR</i> des Mittleren Muschelkalk <i>mm</i>	GW-Geringleiter, subrosionsanfällig	Residualgebirge: GW-Leiter
Anhydrit- und Mergelfolgen <i>mm-m</i> (unterster Teil Anhydritgruppe) des Mittleren Muschelkalk <i>mm</i>	GW-Geringleiter	
Schaumkalkbänke <i>mu5</i> des Unteren Muschelkalk <i>mu</i>	GW-Geringleiter	
Wellenkalk <i>mu1</i> bis <i>mu4</i> des Unteren Muschelkalk <i>mu</i>	GW-Leiter; <i>mu2</i> z.T. GW-Geringleiter	
Buntsandstein		
Mergel- und Tonsteine des Oberer Buntsandstein <i>so</i> : <i>so1</i> (teilweise), <i>so2</i> , <i>so3</i> und <i>so4</i>	GW-Geringleiter	
An der Basis des <i>so1</i> : Rötanhydrit <i>so1A</i> und Röt-Salzlager <i>so1Na</i>	GW-Geringleiter, subrosionsanfällig	Residualgebirge: GW-Leiter
Sand-Tonstein-Wechselfolge des Basissandstein sowie Ton- und Schluffsteine der Solling- (<i>smS</i>) und Volpriehausen- (<i>smV</i>) Folge des Mittlerer Buntsandstein <i>sm</i>	Generell GW-Geringleiter Basissandstein: GW-Leiter	
Rogenstein <i>su-p</i> des Unteren Buntsandstein <i>su</i>	GW-Leiter	
Wechsellagerung von Ton-, Schluff- und Sandstein des Unterer Buntsandstein <i>su</i>	GW-Geringleiter	

2.2.3 Infiltrationsgebiete und Grundwasserneubildung

Insgesamt lassen die in den vorhergehenden Kapiteln dargelegten topographischen, hydrologischen und hydrogeologische Gegebenheiten eine lokal sehr variable GW-Neubildungsrate für den Asse-Höhenzug erwarten:

- Heterogene geologische Situation mit alternierenden Abfolgen von GW-Leitern/-Geringleitern die z.T. verkarstet sind und in vielen Bereichen ein steiles bis senkrechtes (z.T. auch überkipptes) Einfallen aufweisen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 38 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- Mehrere Störungszonen (Dränelemente) die senkrecht bzw. quer zum Streichen der Schichten liegen.
- Lokal bis zu 40 m mächtige tonig-siltige quartäre Deckschichten.
- Ausgeprägtes Relief.
- Relativ weitgespanntes Gewässernetz mit geringen bis sehr geringen Abflussraten.
- Abgrenzung der oberirdischen und unterirdischen Einzugsgebiete der Salzquellen ist mit Unsicherheiten behaftet.
- Variabler Bewuchs mit diversem Waldbestand sowie landwirtschaftlicher Nutzung.

Die für den Grundwasserhaushalt bedeutendsten Zonen für die Versickerung von Niederschlägen sind in erster Linie die kammartigen Ausstrichbereiche der Muschelkalk- und Buntsandstein-Grundwasserleiter in den höheren Lagen des Asse-Höhenzuges [Colenco 2006]. Weiterhin kann Niederschlagswasser auch im Scheitelbereich der Asse-Struktur (d.h. im so genannten verstützten Deckgebirge mit Blöcken aus Buntsandstein und residualem Zechstein) im südlichen Längstal versickern.

In [GSF 1994] wurde die GW-Neubildung für die Einzugsgebiete von Ammerbeek, Rothebach, Hasselbeek und Bleier Graben bestimmt. Die untersuchten Einzugsgebiete umfassen etwa die Hälfte der Gesamtfläche des Asse-Höhenzuges. Dabei wurde in [GSF 1994] der Gesamtabfluss an den vier Vorfluter-Messstellen M0, M25, M35 und M89 (Abb. 2.3) als Abfluss von Oberflächenwasser aufgefasst und die GW-Neubildung als die Resultierende aus dem Niederschlag abzüglich der Evapotranspiration nach [Haude 1955] und des Abflusses berechnet. Dabei ergab sich eine hohe Bandbreite der GW-Neubildung für die betrachteten Einzugsgebiete mit Werten von 30 mm/a bis 51 mm/a für das Einzugsgebiet der Hasselbeek, das die geringste GW-Neubildung der betrachteten Einzugsgebiete aufweist, bis hin zu einem Wert von 213 mm/a für das Einzugsgebiet der Ammerbeek, der den höchsten Wert für die GW-Neubildung repräsentiert (Tab. 2.3).

Weiterhin wurde die GW-Neubildung im Rahmen einer Diplomarbeit untersucht [Stein 1999]. Dabei wurden die folgenden sechs verschiedenen Methoden zur Bestimmung der GW-Neubildung auf die bereits in [GSF 1994] untersuchten Einzugsgebiete der Ammerbeek, des Rothebach, der Hasselbeek und des Bleier Graben angewendet:

- (i) Verfahren der Trockenwetterabflüsse [Hölting & Coldeway 2008],
- (ii) MoMnQ-Verfahren [Wundt 1953],
- (iii) Ermittlung des entwässerbaren Hohlraumvolumens aus Abflussmessungen [März 1977],
- (iv) Ermittlung des entwässerbaren Kluftvolumens aus Abflussmessungen zur Abschätzung des unterirdischen Abflusses [Schräber & Szymczak 1984],
- (v) Chloridkonzentrations-Methode [Schoeller 1962] und
- (vi) Methode des Grundwasserabfluss-Spendenschlüssels [Gabriel & Ziegler 1977].



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 39 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 2.3: Abflussdaten und Wasserbilanz ausgewählter Vorfluter sowie klimatische Wasserbilanz und GW-Neubildung der entsprechenden Einzugsgebiete nach [GSF 1994]. Die Lage der vier Vorfluter-Messstellen ist in Abb. 2.3 wiedergegeben.

Hydrologisches Jahr	Abfluss (l/s)	Abflussspende (l/m ²)	Niederschlag – Evapotranspiration (mm/a)	GW-Neubildung (mm/a)
Einzugsgebiet des Rothebach (1,6 km²) erfasst an M25				
1984	1,41	28,67	220,5	192
1986	3,75	76,22	184,4	108
1988	4,60	93,55	210,7	117
Einzugsgebiet der Hasselbeek (0,8 km²) erfasst an M35				
1984	1,67	69,47	99,08	30
1986	2,92	121,04	166,8	46
1988	4,91	203,7	254,4	51
Einzugsgebiet der Ammerbeek (2,1 km²) erfasst an M89				
1988	4,25	63,93	277,3	213
Einzugsgebiet des Bleier Graben (1,6 km²) erfasst an M0				
1984	1,71	34,64	220,5	186
1988	4,74	96,07	210,7	115

Dabei wurden für die untersuchten Einzugsgebiete von [Stein 1999] die Trockenwetterabflüsse für die hydrologischen Jahre 1983, 1984, 1987, 1988 und für den Zeitraum Dezember 1997 bis November 1998 als Eingangsparameter genutzt. Zudem wurden jährliche Niederschlagshöhen zwischen 515 mm/a (1983) und 736 mm/a (Dezember 1997 bis November 1998), langjährige Niederschlagsmittelwerte und Chloridkonzentrationen aus verschiedenen Niederschlags- und Quell- bzw. Vorfluter-Messstellen des Asse-Höhenzuges verwendet.

Die als Mittelwert aus den jeweiligen Ergebnissen der nach den sechs genannten Methoden berechnete GW-Neubildung liegt bei 78 mm/a (Bleier Graben), 81 mm/a (Rothebach) und 84 mm/a (Ammerbeek) für die Einzugsgebiete in der Südost-Flanke und bei 98 mm/a für das betrachtete Einzugsgebiet der Hasselbeek in der Nordost-Flanke der Asse-Struktur (Tab. 2.3). Aufgrund der vorhandenen Datenbasis ist nach [Stein 1999] bei der Ermittlung der GW-Neubildungsrate die Anwendung des Verfahrens nach [Gabriel & Ziegler 1977] am geeignetsten. Insgesamt liegen die von [Stein 1999] ermittelten Werte für die GW-Neubildungsrate – mit Ausnahme des Wertes für das Einzugsgebiet der Hasselbeek – deutlich unter den von [GSF 1994] ermittelten Werten. Dies ist wahrscheinlich u.a. eine Folge des zur Berechnung der Evaporation in [GSF 1994] verwendeten Verfahrens nach [Haude 1955], welches mit großen Unsicherheiten behaftet ist.

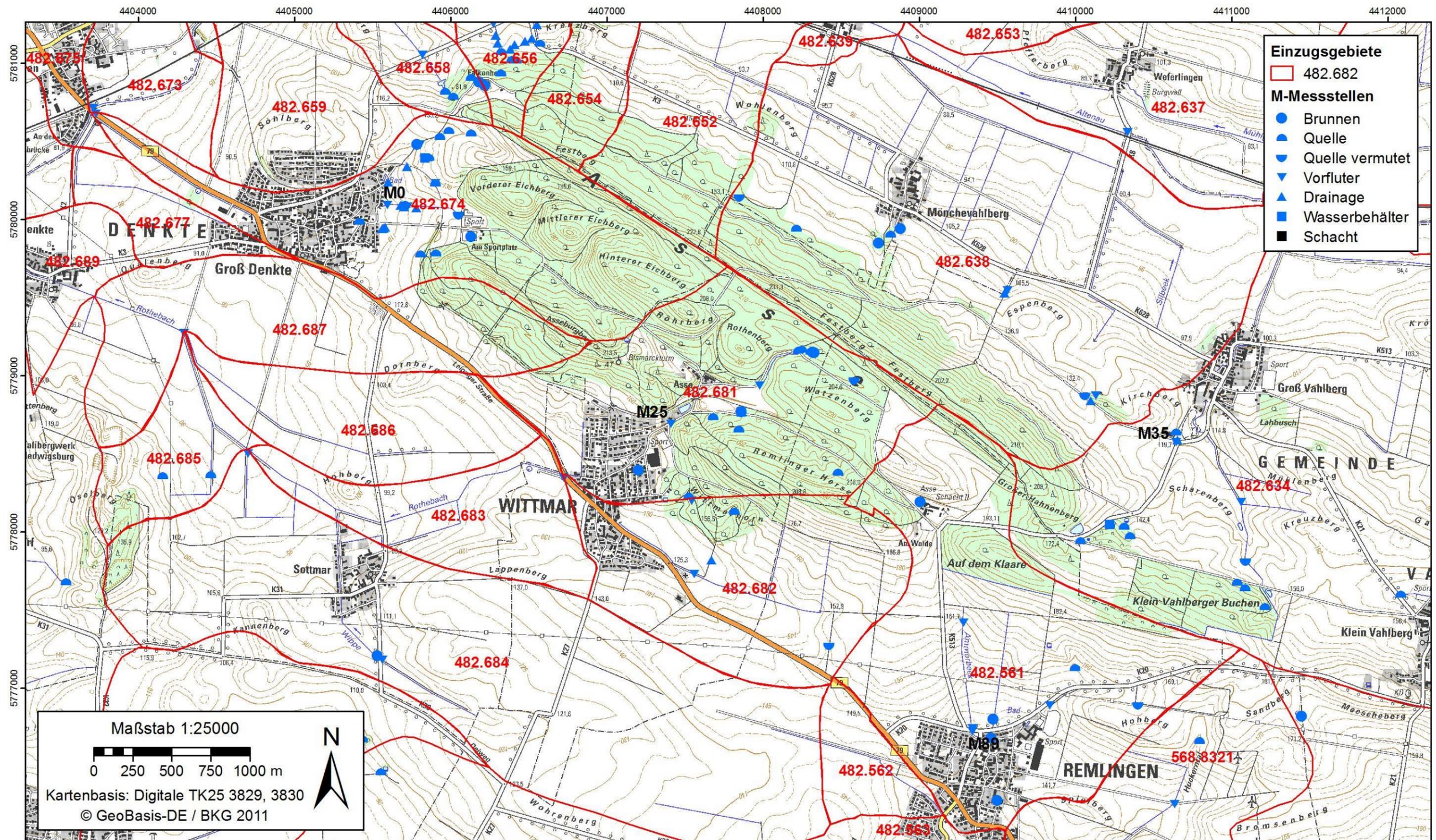


Abb. 2.3: Oberirdische Einzugsgebiete sowie Überblick der Quell-, Drainagen- und Vorfluter-Messstellen („M-Messstellen“) im Gebiet des Asse-Höhenzuges und Umgebung. Von den M-Messstellen sind nur die vier Vorfluter-Messstellen M0, M25, M35 und M88 bezeichnet, an denen Messungen zur Ermittlung des Trockenwetterabflusses durchgeführt wurden. Eine detaillierte Übersicht findet sich in Anhang A.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 41 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

2.2.4 Exfiltrationsgebiete

Nach der Darstellung in [Colenco 2006] lassen sich die Quellen, Brunnen und Vorfluter im Bereich des Asse-Höhenzuges nach den folgenden übergeordneten Exfiltrationsgebieten gliedern (Abb. 2.3):

Nordost-Flanke: Die Nordost-Flanke mit zahlreichen Quellen am nordwestlichen Strukturschluss bei Groß Denkte (Summe der Quellschüttungen ca. 13 l/s, Messstellen weisen zumeist gering mineralisiertes Wasser auf), Quellen aus der Nordost-Flanke zwischen Groß Denkte und der Talung der Diagonalstörung Groß Vahlberg (2 l/s), in der Talung südlich Groß Vahlberg (4,4 l/s) sowie im Vahlberger Abschnitt (0,7 l/s) austretende Quellen. Die Gesamtschüttung der Quellen in der Nordost-Flanke beträgt damit rund 20 l/s.

Südliches Längstal mit dem verstürzten Deckgebirge: Die zentrale Zone des südlichen Längstals (Bereich des sog. „verstürzten Deckgebirges“, [GSF 1994; Colenco 2006]) weist ihr Hauptexfiltrationsgebiet in Groß Denkte auf (Gesamtschüttung der Quellen von 5 l/s, diese Messstellen weisen zumeist stark mineralisiertes Wasser auf); die Quellen im weiteren Verlauf des südlichen Längstales bis zur Diagonalstörung Groß Vahlberg sind wenig ergiebig.

Südwest-Flanke: In der Südwest-Flanke treten im Gebiet Groß Denkte als Summe der Quellschüttungen 0,4 l/s aus, im Gebiet des Quertals von Wittmar 1,8 l/s, in der Südwest-Flanke der Remlinger Herse 1,4 l/s sowie im Quertal der Ammerbeek und in der Südwest-Flanke nördlich von Remlingen rund 2,1 l/s. Die Gesamtschüttung der in der Südwest-Flanke im Muschelkalk bis Jura gelegenen Wasseraustritte beträgt damit etwa 5,7 l/s; aus den Kreideablagerung der Remlinger Mulde treten in Kissenbrück und Remlingen weitere 4,3 l/s aus.

2.2.5 Vorfluter und Einzugsgebiete

Die Vorfluter im unmittelbaren (zumeist bewaldeten) Bereich des Asse-Höhenzuges mit Abflussmengen von ca. 1 l/s bis 10 l/s sind der Osterbach und der Bleier Graben bei Groß Denkte, der Rothebach und Wittmarhornbach bei Wittmar, die Ammerbeek bei Remlingen, sowie die Hasselbeck bei Groß Vahlberg (Abb. 2.1). Nördlich des Asse-Höhenzuges fließen Bäche und Gräben in die Altenau, die südlich von Wolfenbüttel in die Oker mündet. Südlich des Asse-Höhenzuges fließen Gräben und Bäche in die Ammerbeek und in den Wittmarhornbach, der in den Rothebach übergeht. Der Rothebach mündet bei Klein Denkte in die Altenau. Die Ammerbeek mündet in den Großen Graben, der bei Ohrum in die Oker fließt.

Diesen Vorflutern fließen im Bereich des Asse-Höhenzuges weitere kleinere, zum Teil aber nur intermittierend oder periodisch fließende Bäche zu. Sie werden insbesondere im landwirtschaftlich genutzten Umland um den Asse-Höhenzug ergänzt durch ein verzweigtes System aus Gräben und Drainagen (Abb. 2.1). In den Quellen und Vorflutern fließt in der Regel Süßwasser. Salzwasserführung (mit Leitfähigkeiten von >2 mS/cm bis >100 mS/cm) ist nur im nordwestlichen Bereich bei Groß Denkte zu beobachten (z.B. am Bleier Graben). Weiterhin führt noch der Rothebach einen leicht erhöhten Salzgehalt (3 mS/cm bis 4 mS/cm).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 42 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Entsprechend der Morphologie und der Tektonik des Asse-Höhenzuges lassen sich die Oberflächen-Einzugsgebiete der Vorfluter bestimmen (Abb. 2.3). Im Bereich der Nordost-Flanke sind dies die folgenden Gebiete:

- 482.639, 482.651, 482.652, 482.654 und 482.656 bis 482.659: Die nordwestliche Hälfte der Nordost-Flanke und der Strukturschluss bei Groß Denkte entwässern ab der nördlichen Geländerippe (Festberg) zur Altenau wobei der erwähnte Abschnitt infolge der kleinräumigen, jedoch untiefen Durchtalung, von den genannten geringflächigen Einzugsgebieten eingenommen wird.
- 482.638 (Hasselbeek): Die südöstliche Hälfte der Nordost-Flanke bis zum Festberg sowie die Talungen südlich von Groß Vahlberg (Hasselbeek) bis zur südlichen Rippe (Auf dem Klaare – Klein Vahlberger Buchen) entwässern als Einzugsgebiet der Hasselbeek ebenfalls in die Altenau.
- 482.634 (Osterbeek): Das ebenfalls von der südlichen Geländerippe begrenzte Einzugsgebiet der Osterbeek gehört bereits zum Gebiet nordwestlich von Schacht Asse 3 und der Soltau bei Barnstorf das in Anlehnung an [Appel 1971] als Uhrder Abschnitt des Asse-Höhenzuges bezeichnet wird.

Die Grenze der Nordost- zur Südwest-Flanke und damit die Südgrenze der Einzugsgebiete der Nordost-Flanke verläuft von Groß Denkte bis nördlich von Schacht Asse 2 entlang der i.W. durch den Festberg gebildeten nördlichen Geländerippe und verlagert sich südöstlich der Diagonalstörung Groß Vahlberg in die südliche Geländerippe (Auf dem Klaare – Klein Vahlberger Buchen).

Die Südwest-Flanke der Asse-Struktur wird von den folgenden Einzugsgebieten eingenommen:

- 482.674 (Bleier Graben): Einzugsgebiet im Norden bis an den Festberg, im Süden bis an die Asseburg, im südlichen Längstal bis an die Kulmination im Norden des Bismarckturms.
- 482.687: SW-Flanke der südlichen Rippe zwischen Groß Denkte und dem Quertal von Wittmar.
- 482.681 (Rothebach bei der Einmündung des Wittmarhornbach): Einzugsgebiet im Norden bis an die nördliche Längsrippe der Asse (Festberg), im südlichen Längstal gegen Nordwesten bis zur Kulmination nördlich des Bismarckturms, gegen Südosten bis zur Kulmination nördlich der Remlinger Herse.
- 482.682 (Wittmarhornbach): Südwest-Flanke zwischen den Quertälern von Wittmar und der Ammerbeek.
- 482.561 (Einzugsgebiet der Ammerbeek und des seitlichen Zuflusses von Osten): Einzugsgebiet im Nordwesten bis zur Kulmination des südlichen Längstals nördlich der Remlinger Herse, im Norden vom Festberg zur Kulmination des Quertals der Diagonalstörung (bei Bohrung R9) und anschließend zur südlichen Längsrippe (Auf dem Klaare). Gegen Südosten grenzt das Gebiet 482.561 an das zur Elbe entwässernde Einzugsgebiet 568.8321 (Huckental, Osterbeek der Nordost-Flanke).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 43 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die Oberflächenwasserscheide zwischen dem Asse-Höhenzug und dem Ührder Abschnitt verläuft entlang der Linie „Groß Vahlberg – Vahlberger Buchen – Remlingen“, an der die Einzugsgebiete des Asse-Höhenzuges 482.638 und 482.561 (Einzugsgebiet der Weser) an die Einzugsgebiete des Ührder Abschnittes (482.634 im Einzugsgebiet der Weser, 568.8321 im Einzugsgebiet der Elbe) stoßen.

2.2.6 Grundwasseroberfläche

Entsprechend der morphologischen, tektonischen und hydrostratigraphischen Verhältnisse ist für das Gebiet des Asse-Höhenzuges mit einer komplexen Grundwasseroberfläche zu rechnen:

- Die Flanken der Nordwest-Südost-streichenden Asse-Struktur werden durch strukturparallele, steilstehende Abfolgen von geklüfteten GW-Leitern und GW-Geringleitern gebildet.
- Im zentralen Abschnitt der Asse-Struktur zwischen den Flanken (verstärktes Deckgebirge [GSF 1994; Colenco 2006]) stehen verkippte Blöcke sowie residuales Zechsteinsalinar an.
- Insbesondere die Südwest-Flanke wird durch quer sowie diagonal zum Streichen der Struktur verlaufende Störungen durchzogen.
- Die größten topographischen Neigungen sind quer zum Streichen der Schichten, nach Nordosten bzw. Südwesten gerichtet (abgesehen von einzelnen Einschnitten von Quertälern).

Es liegt ein GW-Gleichenplan von [Schönfeld 1985] sowie von [GSF 2001] vor, die beide im Folgenden kurz dargestellt werden. Auf den GW-Gleichenplan aus [Colenco 2006] wird in Kapitel 7 ausführlich eingegangen.

Grundwassergleichenplan von [Schönfeld 1985]

Der GW-Gleichenplan von [Schönfeld 1985] wurde auf Basis der dichtekorrigierten Messwerte des Jahres 1983 (kein genaueres Datum angegeben) aus ausgewählten H-Bohrungen, den Schächten Asse 1 und 3 sowie aus der Höhenlage der Quellen erstellt. Es wurde auch unterschieden zwischen Messstellen, die ihre Filterstrecke ausschließlich am Salzspiegel haben und solchen, die das überlagernde Deckgebirge erschließen. Die resultierenden Grundwassergleichen folgen weitestgehend der Morphologie, wobei sich die Süßwasserdruckspiegelhöhen der Messstellen am Salzspiegel nicht in den GW-Gleichenplan einfügen lassen und somit nach [Schönfeld 1985] ein getrenntes Grundwasserstockwerk erschließen. Weiterhin zeigt der GW-Gleichenplan von [Schönfeld 1985] einen etwa kreisförmigen Absenktrichter um den Schacht Asse 1, bei dem Grundwasser aus dem oberen Grundwasserstockwerk (Deckgebirge) in das untere Stockwerk am Salzspiegel übertritt. Eine weitere Verbindungsstelle der beiden Grundwasserstockwerke liegt im Bereich des Strukturschlusses am Ostrand von Groß Denkte. Insgesamt wurde der geologischen Struktur der Asse – der Wechsellagerung von GW-Leitern/GW-Geringleitern – sowie den Störungszonen im GW-Gleichenplan von [Schönfeld 1985] nicht Rechnung getragen und dementsprechend wird der GW-Gleichenplan von [Schönfeld 1985] als nicht belastbar betrachtet.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 44 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Grundwassergleichenplan von [GSF 2001]

Der GW-Gleichenplan des [GSF 2001] ist etwas detaillierter als der von [Schönfeld 1985]. Er berücksichtigt neben ausgewählten H-Bohrungen auch ausgewählte P- und die R-Bohrungen (Stichtagsmessung vom 24.10.1989) sowie die Höhenlage der Quellen. Allerdings erfolgte bei der Konstruktion der GW-Gleichen keine klare Trennung zwischen den Süßwasserdruckspiegelhöhen in den GWM, die den oberflächennahen Bereich des Deckgebirges charakterisieren und den Tiefenpotentialen. So wird insbesondere die geringe Druckspiegelhöhe im Unteren Muschelkalk der Bohrung R6 als Hinweis auf eine massive, sich bis an die Geländeoberfläche auswirkende Absenkung des Wasserspiegels rund um die Schachanlage Asse II interpretiert. Zudem wurden die Wechselagerung von GW-Leitern/GW-Geringleitern und die Störungszonen in diesem GW-Gleichenplan nicht berücksichtigt. Insofern wird der GW-Gleichenplan des [GSF 2001] ebenfalls als nicht belastbar betrachtet.

2.2.7 Grundwasserbeschaffenheit

Ausführliche Untersuchungen der hydrochemischen GW-Beschaffenheit des Asse-Deckgebirges sind in [Frank 1974], als Datenkompilation in den GSF-Jahresberichten (u.a. [GSF 1989a; GSF 2003; GSF 2004]) sowie zusammenfassend in [GSF 1994] und [GSF 2002a] dokumentiert. Die letzteren beiden Berichte enthalten auch ausführliche Daten zur Isotopenchemie der Grundwässer der Asse. Nachfolgend wird zusammenfassend auf die Ergebnisse der genannten Berichte eingegangen. Daten zur Grundwasserbeschaffenheit aus dem Untersuchungszeitraum 2002 bis 2011 sind ausführlich in Kap. 8 dargestellt (Daten der Jahre 2012 im Anhang G). Die Ergebnisse der Isotopenanalysen der Grundwässer der Asse für den Zeitraum 2002 bis 2012 finden sich in Kap. 9.

Die Darstellung der GW-Beschaffenheit des Asse-Höhenzuges von [Frank 1974] bezieht sich auf ein Messprogramm mit 30 Messstellen, die in den Jahre 1966 bis 1970 beprobt wurden. Es erfolgt eine Ionenbilanzierung und die Darstellung in Diagrammen nach Piper, Schoeller und Udluft. Der Bericht von [GSF 1994], der auf Analysen aus einem gegenüber [Frank 1974] deutlich ausgeweiteten Messstellennetz beruht, bietet ebenfalls einen Überblick über die physikalisch-chemischen Parameter und die Hydrochemie der Grundwässer des Asse-Höhenzuges, mit einem Schwerpunkt auf den Tiefbohrungen Remlingen R5 bis R8. Die Ergebnisse stützen die hydrochemischen Resultate von [Frank 1974] im Hinblick auf die hydrochemische Beschaffenheit und Typisierung der Grundwässer. Zusätzlich werden die Ergebnisse der Wasserisotopenanalysen, der Schwefelisotopenanalysen sowie der ^{14}C -Gehalte der Grundwässer in den tiefen Bohrungen gezeigt, dazu werden die Isotopen ^2H und ^{18}O im Niederschlagswasser und in den oberflächennahen Grundwässern dargestellt.

Insgesamt spiegelt die chemische Zusammensetzung der Grundwässer im Deckgebirge der Asse im Wesentlichen die petrographische Zusammensetzung des Ausgangsgesteins und die Grundwasserdynamik wider. Aufgrund der Häufigkeit von relativ leicht löslichen Karbonaten, Sulfaten und Halit in den Deckgebirgs- und Salinargesteinen herrschen die drei Haupttypen Calcium-Hydrogenkarbonat-, Calcium-Sulfat- und Natrium-Chlorid-Wässer im Deckgebirge der Asse vor. Weiterhin sind lokal auch Mischwässer der vorgenannten Hauptwassertypen sowie Austauschwässer zu finden.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 45 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Im oberflächennahen Bereich des Asse-Höhenzuges liegen zumeist schwach mineralisierte Wässer vor, deren Zusammensetzung durch die chemische Zusammensetzung der anstehenden überwiegend triassischen Gesteine geprägt ist. Die oberflächennahen Grundwässer und die Oberflächenwässer zeigen bis auf wenige Ausnahmen geringe elektrische Leitfähigkeiten (bis max. 5 mS/cm). Dabei ist die hydrochemische Zusammensetzung der Wässer in den GWM und Quellen bis auf geringe Schwankungen des Salzgehaltes relativ konstant. Im Gegensatz dazu ergeben sich starke Veränderungen im Chemismus der Salzquellen bei Groß Denkte, die nach [GSF 1994] auf zeitweilig verstärkten Zufluss von Natriumchlorid-haltigen Zechsteinwässern zurückzuführen ist. Im Bereich des Salzspiegels und im Bereich der tiefen Grundwässer, die durch die R-Bohrungen erschlossen werden, steigen die Gehalte an Natrium, Calcium, Chlorid und Sulfat stark an. Die elektrischen Leitfähigkeiten erreichen Werte von mehr als 200 mS/cm, teilweise liegen gesättigte Natrium-Chlorid-Solen vor [GSF 1994].

In allen untersuchten Quellen, Drainagen und Brunnen im Asse-Deckgebirge zeigen die Tritium-Gehalte Anteile von jungem Grundwasser an, welches sich aus dem Niederschlagswasser nach 1952/53 gebildet hat bzw. nacheiszeitlichen Alters ist [GSF 1994; GSF 2002a]. Nur in den Messstellen R5, R7 und mit Einschränkungen in R8, liegt annähernd tritiumfreies Wasser vor, in der Messstelle R6 ist seit 1999 kein Tritiumgehalt mehr nachweisbar. Die gemessenen ^{14}C -Gehalte der Grundwässer mit Werten zwischen 20 pMC und 100 pMC („percent Modern Carbon“) zeigen erhebliche Unterschiede. Die mittels hydrochemischer Modellierung korrigierten ^{14}C -Modellalter zeigen nach [GSF 1004], dass es sich bei den meisten untersuchten Wässern um Grundwässer mit ^{14}C -Modellaltern von weniger als 1000 bis 2000 Jahren, möglicherweise auch nur von einigen Jahrzehnten, handelt.

Die $\delta^2\text{H}$ - (ca. -34 ‰) und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (ca. -2,5 ‰) der tiefen Grundwässer im Unteren Muschelkalk aus den Bohrungen R5 und R7 liegen im $\delta^2\text{H}/\delta^{18}\text{O}$ -Diagramm deutlich rechts der globalen „Niederschlagsgeraden“ (global meteoric water line, GMWL). Somit sind diese Wässer signifikant verschieden von den Grundwässern aus höher gelegenen Schichten des Asse-Deckgebirges.

Die Schwefelisotopenzusammensetzung ($\delta^{34}\text{S}$) der meisten Grundwässer im Deckgebirge weist eine Signatur des jeweiligen durch die Filterstrecke erschlossenen Gesteins auf, was unter Berücksichtigung der Tritiumalter, auf eine relativ schnelle Annahme der Schwefelisotopen-Gesteinssignatur hinweist [GSF 1994; GSF 2002a]. Die Zechsteinsignatur der GWM H2, H6, H11, H12, H13 und H22 weist auf aufsteigende Grundwässer aus dem Bereich des Salzsattels hin.

Gelöste Gase in den Solen am Salzspiegel wurden in den – mittlerweile verfüllten – GWM H11 und H18a an mehreren während zweier Pumpversuche gewonnenen Wasserproben aus den Jahren 1975 und 1982 analysiert [GSF 1994]. Das gewonnene Gas ist gekennzeichnet durch Stickstoff (ca. 91 bis 93 Vol-%), O_2 (0,2 bis 1,5 Vol-%) und CO_2 (0,05 bis 3,1 Vol-%) sowie H_2S -Führung (25 vpm) und neben Methan (1 bis 2,5 Vol-%) durch das Auftreten höherer Kohlenwasserstoffe [GSF 1994]. Darüber hinaus wurde Wasser der Bohrung R6 während einem Pumpversuch mittels einer Gasfalle auf gelöste Gase untersucht. Die Anteile der gelösten Gase liegen im Bereich der für die Bohrungen H11 und H18a genannten Bereiche, wobei sich in der Bohrung GWM R6 geringe Anteile an H_2S nachweisen lassen [GSF 1994].



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 46 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

3 HYDROLOGISCH-HYDROGEOLOGISCHES MESSNETZ

Seit dem Beginn der 1970er Jahre wurde im Bereich des Asse-Höhenzuges in mehreren Bauphasen ein weitgespanntes, aber zum Teil unregelmäßig verteiltes hydrologisches und hydrogeologisches Messnetz errichtet. Dieses Messnetz bestand aus einer meteorologischen Station bei Schacht Asse 2, etwa 50 Grundwassermessstellen sowie aus etwa 200 hydrologischen Messstellen an Quellen, Drainagen und Vorflutern [GSF 1994; Colenco 2006]. Während die meteorologische Station bei Schacht Asse 2 nach wie vor betrieben wird, wurde ein Teil der Grundwassermessstellen und hydrologischen Messstellen in den 1990er-Jahren zurückgebaut.

Die Ergebnisse diese hydrologisch-hydrogeologischen Untersuchungsprogramms wurden seit 1984 i.W. in den Jahresberichten des GSF veröffentlicht. Diese Jahresberichte umfassen die Darstellung der Ganglinien der Grundwassermessstellen, der ca. einmal im Jahr gefahrenen geophysikalischen Bohrlochlogs (elektrische Leitfähigkeit, Dichte, Temperatur), der meteorologischen Daten (Niederschläge) am Standort Asse sowie der Ergebnisse der hydrochemischen Analysen der Messstellen. Diese Berichterstattung wurde im Jahr 2005 eingestellt. Eine Kompilation und Interpretation der vor 1992 erschienenen Daten sowie die Darstellung weiterer hydrologischer und hydrogeologischer Ergebnisse ist in [GSF 1994] enthalten. Weiterhin wurden Ergebnisse des hydrologisch-hydrogeologischen Messnetzes zusammenfassend in [Colenco 2006] dargestellt und im Hinblick auf eine hydrogeologische Modellvorstellung interpretiert.

3.1 METEOROLOGISCHE STATION BEI SCHACHT ASSE 2

Die Erfassung von meteorologischen Daten auf dem Betriebsgelände der Schachanlage Asse II erfolgt seit 1990 durch die Station bei Schacht Asse 2 (Koordinaten: ⁴⁴09243, ⁵⁷78181, 192 mNN). Dabei werden die Temperatur, die Niederschlagshöhe, die Luftfeuchtigkeit, der Luftdruck, die Windgeschwindigkeit und -richtung sowie der Taupunkt automatisch ermittelt. Die instrumentelle Messung der Niederschlagshöhe und Temperatur erfolgt dabei in 1 m über Grund, während die Windrichtung und -geschwindigkeit auf einem 5 m hohen Mast auf dem 37 m hohen Förderturm des Schachtes 2 gemessen wird.

Die meteorologische Station bei Schacht Asse 2 liegt in einer Höhe von 192 mNN (Geländeoberfläche). Die mit zahlreichen Gebäuden bestandene Fläche des etwa 40 ha großen Betriebsgeländes der Schachanlage Asse II ist bis auf den gesamten Norden nahezu vollständig von Wald umschlossen. Die Gebäude erreichen Höhen von mehreren Metern, wobei laut schriftlicher Auskunft der Asse-GmbH vom 24.01.2012 zwischen November 2008 und November 2009 zwei Container mit einer Höhe von ca. 3 m, ungefähr 20 m westlich der Station platziert waren. Der an das Betriebsgelände angrenzende Baumbestand erreicht im Mittel Höhen von 10 m bis 20 m [DWD 2001]. Das Gelände um die Schachanlage Asse II steigt in westsüdwestliche Richtung in einer Entfernung von ca. 580 m zur meteorologischen Station bis auf 234 mNN an. Eine weitere Geländeerhebung mit 226 mNN befindet sich etwa 200 m nördlich des Standortes. Aufgrund des Geländeverlaufes erreichen und übersteigen somit die Gebäudehöhen in wenigen Metern Entfernung die Höhe des Niederschlagsmessers; die Baumkronen erreichen in einer Entfernung von ca. 200 m von der meteorologischen Station die Höhe des Windmessers.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Sachstandsbericht Hydrogeologie			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 47 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

3.2 GRUNDWASSERMESSTELLEN UND SCHÄCHTE

Zu den seit den 1970er Jahren, im Rahmen des damaligen hydrogeologischen Untersuchungsprogramms [GSF 1994] errichteten Grundwassermessstellen gehören 27 zu GWM ausgebaute hydrogeologische („H“-) Bohrungen mit Tiefen zwischen 38 m und 390 m, die in den Jahren von 1970 bis 1986 gebaut wurden. Zudem wurden 17 zu GWM ausgebaute Pegel- („P“-) Bohrungen mit Tiefen zwischen 6 m und 97 m in den Jahren von 1978 bis 1986 errichtet. Diese weisen zumeist einen etwas geringeren Durchmesser als die H-Bohrungen auf. Die Koordinaten und Ausbaudaten dieser GWM sind in Tab. A.1 und A.2 im Anhang dargestellt.

Als letzter Schritt des damaligen hydrogeologischen Untersuchungsprogramms wurden dann in den Jahren 1983 bis 1986 nördlich von Remlingen fünf Tiefbohrungen („R“-Bohrungen R5 bis R9) mit Tiefen zwischen 697 m und 2256 m niedergebracht. Von diesen Tiefbohrungen sind die vier (R5 bis R8) auf der Südwest-Flanke abgeteufte R-Bohrungen durch eine Perforation der Verrohrung im Bereich des Unteren Muschelkalk als GWM ausgebaut worden, während die auf der Nordost-Flanke abgeteufte Tiefbohrung R9 verfüllt wurde. Die Koordinaten und Ausbaudaten dieser tiefen GWM sind in Tab. A.3 im Anhang zusammengestellt.

Im Zuge der geplanten Schließung der Schachanlage Asse II durch den ehemaligen Betreiber (HMGU) wurden in den 1990er-Jahren eine ganze Reihe der H- und P-Bohrungen zurückgebaut und verfüllt [Colenco 2006].

In den Jahren 2008 und 2009 wurden drei neue Pegel- („PN“-) Bohrungen im Bereich der Südflanke der Asse-Struktur abgeteuft [Franzke 2009]. Zwei dieser Bohrungen (PN1 und PN2) wurden anschließend als Messstellenbündel mit je einem Flachpegel („FP“) und einem Tiefpegel („TP“) ausgebaut; in der Bohrung (PN3) wurde praktisch kein Zutritt von Grundwasser festgestellt und sie wurde deshalb wieder verfüllt. Die Koordinaten und Ausbaudaten dieser GWM sind in Tab. A.3 im Anhang gezeigt.

Dementsprechend stehen damit heute noch die im Folgenden genannten GWM für das hydrogeologische Messnetz zur Verfügung (Abb. 3.1):

- die hydrogeologischen Bohrungen H1, H2¹, H3, H5, H6, H7, H9, H14, H16, H17, H23 und H24b,
- die Pegelbohrungen P9, P13, P14², P15, P16 und P17,

¹ GWM H2 erschließt mit ihrer dreigeteilten Filterstrecke Schichten des Mittleren und Oberen Muschelkalk sowie des Mittleren Keuper in der Südwest-Flanke durch die GWM H2. Die Ganglinie des Wasserspiegels wird in dieser GWM nicht erfasst.

² GWM P14 erschließt mit ihrer zweigeteilten Filterstrecke Schichten des Buntsandstein und des Zechstein im verstürzten Deckgebirge. Die Ganglinie des Wasserspiegels wird in dieser GWM nicht erfasst und es werden keine Beprobungen zum Zweck der GW-Beschaffenheit durchgeführt.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 48 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- die Tiefbohrungen R5, R6¹, R7 und R8
- sowie die neuen Pegelbohrungen PN1 und PN2.

Weiterhin werden noch die Schächte Asse 1 (abgeteuft in den Jahren 1899 und 1900; abgesoffen 1906 und mittlerweile z.T. mit Bauschutt und Salz verfüllt) und Asse 3 (abgeteuft in der Zeit von 1911 bis 1921 dann aufgrund von Lösungszutritten von 680 m Tiefe bis zur Endteufe mit Beton verfüllt und 1924 aufgegeben) sowie der Schachtbrunnen M1 (vermutlich in Zusammenhang mit dem von 1974 bis 1977 abgeteuften Schacht Asse 4 errichtet) für die hydrogeologische Standortüberwachung genutzt (Abb. 3.1). Die Koordinaten und Ausbaudaten dieser Messstellen sind in Tab. A.3 im Anhang gezeigt.

Insgesamt befinden sich die meisten Messstellen des hydrogeologischen Messnetzes in der Südwest-Flanke und in der zentralen Zone des Asse-Höhenzuges im Bereich um die Schachanlage Asse II (Abb. 3.1), nur wenige GWM erfassen die Nordost-Flanke. Damit erschließen die Messstellen – entsprechend der lithologischen und stratigraphischen Einstufung in [GSF 1994] – die folgenden Formationen (Tab. 3.1):

- Unterer Buntsandstein (*su*) der Nordost-Flanke im Bereich des verstürzten Deckgebirges durch GWM H3, Schacht Asse 1 und 3 sowie Schachtbrunnen M1.
- Verkarsteter Oberer Buntsandstein (*so1-so2*) der Südwest-Flanke durch GWM H24b.
- Unterer Muschelkalk (*mu*) der Nordost-Flanke durch die GWM H1.
- Unterer Muschelkalk (*mu*) der Südwest-Flanke durch die GWM H14 (mit Quartär *q*), H23, P16, die neuen GWM PN1 (FP und TP) und PN2 (TP) sowie die Tiefbohrungen R5 bis R8.
- Mittlerer Muschelkalk (*mm*) der Südwest-Flanke durch die GWM H2 (mit *mo* und *km*) H6 (mit *q* und *so1A*), H16, PN2 (FP) und P13 (mit *mm* und *so2-so3*).
- Mittlerer Keuper (*km*) der Nordost-Flanke durch die GWM P17 und der Südwest-Flanke durch die GWM H2 (mit *mm* und *mo*) sowie P9.
- Oberer Keuper (*ko*) der Südwest-Flanke durch die GWM P15.
- Unterer Jura (*ju*) der Südwest-Flanke durch die GWM H7 und H9.
- Residuales Zechsteingebirge (*z3r*, altes Hutgestein) im Top der Asse-Struktur durch die GWM H5.
- Subrosionsgerinne am Salzspiegel durch die GWM H17.

¹ Aufgrund einer Beschädigung der GWM R6 in etwa 476 m Tiefe, d.h. kurz oberhalb des perforierten Abschnittes, die im Zeitraum 1993 bis 1995 aufgetreten ist, wird in dieser Messstelle nur noch die Ganglinie des Grundwasserspiegels aufgezeichnet (vgl. Kap. 4). Beprobungen des Grundwassers im Hinblick auf die hydrochemische Beschaffenheit finden seit dem Jahr 2005 nicht mehr statt (vgl. Kap. 8).



Bundesaamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 49 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Somit wird der Untere Muschelkalk der Südwest-Flanke durch neun GWM erschlossen, während die übrigen Formationen zumeist durch eine bis maximal vier GWM erschlossen werden. Weitere potentielle GW-Leiter, wie z.B. der Basissandstein des Mittleren Buntsandstein in der Nordost-Flanke sowie das Residualgebirge des Oberen Buntsandstein und der Mittlere Muschelkalk der Nordost-Flanke werden nicht durch eine GWM erfasst. Weiterhin wird das Grundwasser aus dem Oberen Buntsandstein (so) oftmals nur gemeinsam mit Filterstrecken in angrenzenden hydrogeologischen Einheiten erschlossen (z.B. in der GWM H6).

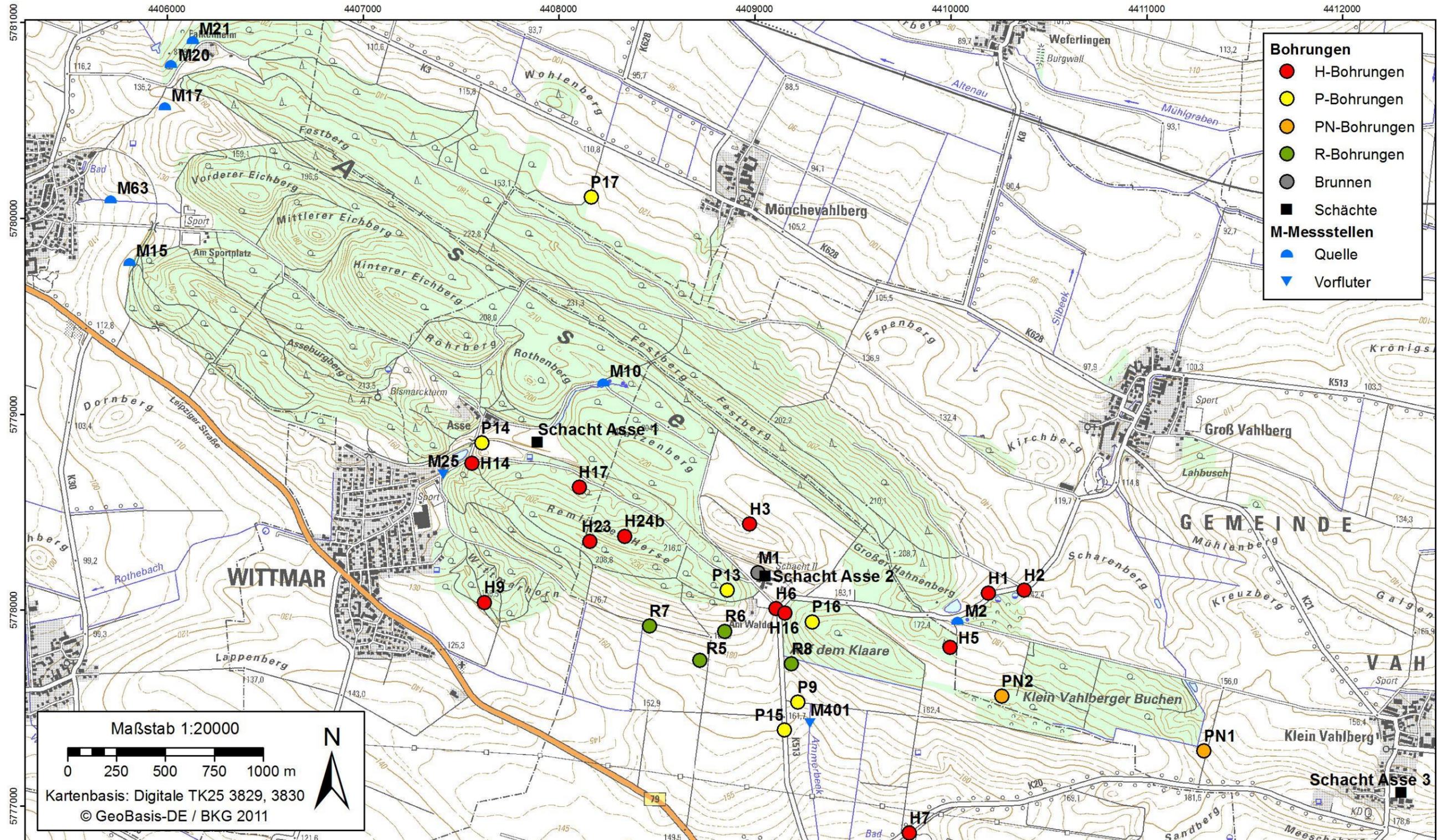


Abb. 3.1: Übersicht der Messstellen im hydrogeologischen Messnetz des Asse-Höhenzuges.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 51 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 3.1: Übersicht der im hydrogeologischen Messnetz in den Jahren 2002 bis 2011 erfassten H- und P-Grundwassermessstellen mit Angabe der erschlossenen geologischen Formation(en) und der Charakteristik der Filterstrecken.

Messstelle	Messpunkthöhe ⁽¹⁾	Erschlossene geol. Formation	Durchmesser	Filterstreckenabschnitte und Tiefe unter Messpunkt	Zentrum der Filterstrecke unter Messpunkt	Gesamtlänge der Filterstrecke ⁽²⁾
	(mNN)		(mm)	(m)	(m)	(m)
H1	152,40	<i>mu</i>	200	1 (7,5-9,5), 2 (11,5-23,5), 3 (25,5-65,5)	36,5	58
H2	143,43	<i>mm, mo, km</i>	125	1 (14,5-35,75), 2 (39,5-58,25)	36,38	43,75
H3	226,19	<i>su2</i>	150	1 (36,5-50,5) 2 (52,5-54), 3 (85,5-91,5)	64	55
H5	188,21	<i>z3r (so1, A3)</i>	150	1 (9,5-29,5), 2 (31-38,5), 3 (61,5-117,5)	63,5	108
H6	179,98	<i>q, mm, so1</i>	125	1 (15,75-17), 2 (19-34,5), 3 (39-49,5), 4 (53,3-68,25)	42	52,5
H7	145,62	<i>ju</i>	125	1 (3,4-8,4), 2 (10-24,7), 3 (25,9-28,4)	15,9	25
H9	145,10	<i>ju</i>	125	1 (20,2-52,7)	36,5	32,5
H14	148,60	<i>q, mu</i>	150	1 (8,8-12,8), 2 (17,8-46,8)	27,8	38
H16	176,20	<i>mm</i>	125	1 (7,1-35,1)	21,1	28
H17	173,32	Subrosionsgerinne	125	1 (223,7-241,2)	232,5	17,5
H23	225,36	<i>mu</i>	150-125	1 (40-84), 2 (92-139), 3 (142,5-160)	100	120
H24b	205,48	<i>so1-so2</i>	150	1 (10,8-50), 2 (60-66), 3 (93-132), 4 (144-204)	107,45	193,2
P9	164,12	<i>km</i>	50	1 (4-20)	12	16
P13	213,58	<i>mm, so2-so3</i>	80	1 (13,5-40,5), 2 (43-82,5), 3 (88-94,5)	54	81
P15	159,82	<i>ko</i>	125	1 (12-42)	27	30
P16	201,73	<i>mu</i>	80	1 (23-80)	51,5	57
P17	133,09	<i>km1</i>	125	1 (10-58)	34	48

⁽¹⁾ Die Messpunkthöhe ist gleich der Höhe des Schachtdeckels.

⁽²⁾ Länge der Filterstrecke inklusive der nicht verfilterten bzw. perforierten Abschnitte.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 52 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Wie in Tab. 3.1 und Tab. 3.2 aufgezeigt und in Tab. 3.3 detailliert dargestellt, weisen die in den 1970er bis 1980er Jahren errichteten GWM des hydrogeologischen Messnetzes besondere ausbautechnische Charakteristiken auf, die bei der Betrachtung der jeweiligen hydrogeologischen Daten zu berücksichtigen sind [Colenco 2006]:

- Die Hälfte der GWM im hydrogeologischen Messnetz besitzt eine verhältnismäßig lange Filterstrecke von bis zu 190 m (Tab. 3.1). Zudem wird in mehreren GWM die hydraulisch wirkungsvolle Filterstrecke durch die Verfüllung des Ringraums zwischen Standrohr und Bohrlochwand durch Sand oder Kies verlängert [Colenco 2006]. Durch diesen Messstellenausbau wird somit nicht die in einem eng begrenzten Abschnitt einer Formation herrschende hydraulische Druckhöhe bestimmt. Der Messwert entspricht vielmehr der sich über eine große Mächtigkeit des GW-Leiters einstellenden hydraulischen Druckhöhe, deren Höhe von zahlreichen Faktoren abhängt, u.a. von der Mächtigkeit und Zuflussrate einzelner Abschnitte in der GWM sowie vom Verlauf der Potentialflächen: In GW-Leitern mit großer vertikaler Erstreckung verlaufen in den In- bzw. Exfiltrationsgebieten in hügeligem Gelände die Potentialflächen nicht vertikal. In GWM mit einer langen Filterstrecke wird bei einer solchen Situation ein Mischpotential gemessen, während die Auswirkungen dieses Mischpotentials in GW-Leitern mit annähernd vertikalen Potentialflächen in der Regel gering sind.
- 11 der GWM wurden mit mehreren Filterstrecken versehen, die sich z.T. jeweils in verschiedenen geologischen Formationen befinden bzw. sehr unterschiedlich durchlässige Horizonte innerhalb einer Formation erschließen. In Abhängigkeit von den Fließverhältnissen in den angeschlossenen GW-Leitern kann dieser Ausbau zu hydraulischen Kurzschlüssen führen, die eine vertikale Grundwasserströmung in der GWM induzieren. Untersuchungen zur Vertikalströmung in GWM zeigen, dass Vertikalströmungen schon bei geringsten Potentialunterschieden zwischen den Grundwasserstockwerken entstehen können [Barczewski et al. 1993]. Weiterhin können sich durch einen solchen Kurzschluss Grundwässer aus verschiedenen hydrostratigraphischen Einheiten mischen, was eine Beurteilung ihrer hydrochemischen Beschaffenheit (u.a. auch der im Asse-Deckgebirge wichtigen Salinitätsverteilung) erschweren kann.
- In 9 GWM des hydrogeologischen Messnetzes liegt ein Teil der Filterstrecke über dem Grundwasserspiegel in der GWM. In vier Messstellen wurde zudem die Oberkante der verfilterten Abschnitte sehr oberflächennah angelegt (<10 m unter Geländeoberkante) ohne ein Sperrrohr einzubauen. Durch diesen oberflächennahen Ausbau der Messstelle kann möglicherweise eine Zusickerung von Oberflächenwasser nach starken Niederschlagsereignissen über die Filterstrecke in die GWM erfolgen. Diese Zusickerung kann dann zu einer kurzfristigen Erhöhung der Standrohrspiegelhöhe in der GWM führen, die nicht repräsentativ ist für die Grundwasserdruckfläche im erschlossenen GW-Leiter.
- Weiterhin ist in Bezug auf den Messstellenausbau hervorzuheben, dass nach der Errichtung der Messstellen keine Daten zur Ausprägung/Tiefenlage von potentiellen wasserführenden Horizonten (z.B. Klüften, Störungen) im Bereich der Filterstrecke erhoben wurden. Zudem wurden seit der Errichtung der H-, P- und R-Grundwassermessstellen in den 1970er und 1980er-Jahren keine Untersuchungen zum baulichen Zustand des Messstellenausbaus durchgeführt. D.h. mögliche Veränderungen der Beschaffenheit bzw. Funktionalität der Tonsperrern oder der Filterstrecke über die Zeit sind somit nicht dokumentiert.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 53 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- 11 Messstellen weisen eine gegenüber Süßwasser erhöhte und oftmals nach unten zunehmende Mineralisierung und dementsprechend erhöhte Wasserdichte auf. Bei Zunahme der Wasserdichte mit der Tiefe entspricht die in der GWM gemessene Standrohrspiegelhöhe, in Abhängigkeit von der Lage der Filterstrecke, nicht notwendigerweise der Lage der Grundwasser Oberfläche, noch stellt sie die Süßwasserdruckspiegelhöhe dar.

Tab. 3.2: Übersicht der im hydrogeologischen Messnetz in den Jahren 2002 bis 2011 erfassten R- und PN-Grundwassermessstellen sowie der Schächte und Brunnen mit Angabe der erschlossenen geologischen Formation(en) und der Charakteristik der Filterstrecken.

Messstelle	Messpunkthöhe ⁽¹⁾	Erschlossene geol. Formation	Durchmesser (mm)	Filterstreckenabschnitte und Tiefe unter Messpunkt	Zentrum der Filterstrecke u. Messpunkt	Gesamtlänge der Filterstrecke ⁽²⁾
	(mNN)		(mm)	(m)	(m)	(m)
R5	172,64	<i>mu</i>	178	1 (791-896 m)	843,5	105
R6	193,32	<i>mu</i>	127	1 (476,3-519 m)	497,65	42,7
R7	181,32	<i>mu</i>	178	1 (744-754), 2 (761-763), 3 (776-783), 4 (792-796), 5 (800-803), 6 (823-832)	788	88
R8	169,65	<i>mu</i>	178	1 (463-471), 2 (490-493), 3 (513-533), 4 (543-548), 5 (554-572), 6 (591-611)	537	148
PN1-FP	176,95	<i>mu3</i>	100	1 (38-43)	40,5	5
PN1-TP	176,95	<i>mu1</i>	125	1 (180-190)	185	10
PN2-FP	207,37	<i>mm</i>	100	1 (41,2-46,2)	43,7	5
PN2-TP	207,37	<i>mu1</i>	125	1 (227,5-232,5)	230	5
S1	160,45	<i>su</i>	5500	(3)	(3)	ca. 136 ⁽³⁾
S3	170,17	<i>su, z3r, z</i>	?	(4)	(4)	ca. 725 ⁽⁴⁾
M1	192,53	<i>su</i>	3	(4)	(4)	ca. 27 ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Die Messpunkthöhe ist gleich der Höhe des Schachtdeckels.

⁽²⁾ Länge der Filterstrecke inklusive der nicht verfilterten bzw. perforierten Abschnitte.

⁽³⁾ Keine Filterstrecke vorhanden, Schachttiefe war ursprünglich 688,75 m, mittlerweile ist der gemauerte Schacht 1 durch Verfüllung mit Salzgrus noch bis in einer Tiefe von etwa 136 m offen.

⁽⁴⁾ Keine Filterstrecke vorhanden; Schacht bzw. Brunnen gemauert.

Im Gegensatz zu den in den 1970er und 1980er Jahren errichteten H-, P- und R-Grundwassermessstellen, wurden die 2008 und 2009 errichteten Messstellen PN1 und PN2 als Messstellenbündel konzipiert. D.h., jede GWM enthält zwei Pegelrohre die an zwei Filterstrecken angeschlossen sind welche durch eine sehr mächtige Tonsperre voneinander getrennt sind. Dieser Ausbau sichert zum einen die hydraulische Trennung der einzelnen GW-Leiter und erlaubt es zum anderen, die Standrohrspiegelhöhe jeweils für eng definierte Tiefenbereiche eines GW-Leiters zu erfassen.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 54 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 3.3: Geologisch-hydrogeologische Charakterisierung der GWM und Schächte des hydrogeologischen Untersuchungsprogramms. Zu den PN-Bohrungen sowie zu Schacht Asse 3 lagen keine Daten zu hydraulischen Untersuchungen vor.

Messstelle	Lithologie	Filterstreckenabschnitte	Anzahl der erschlossenen geol. Formationen	Bandbreite der k_f -Werte (m/s) in [Colenco 2006] ⁽¹⁾	Fließregime [GeoUm 2003] ⁽²⁾	Hydrogeologische Charakterisierung ⁽³⁾
H1	<i>mu</i>	3	1	$1,6 \cdot 10^{-7} - 1,1 \cdot 10^{-4}$		L, O
H2	<i>mm, mo, km</i>	2	3	$4,7 \cdot 10^{-7} - 2,3 \cdot 10^{-5(4)}$	S/I	L
H3	<i>su2</i>	3	1 ⁽⁴⁾	$2 \cdot 10^{-6} - 8 \cdot 10^{-5}$	B, S	L, F, S
H5	<i>so1Ay, z3r</i>	3	2 ⁽⁴⁾	<i>so1Ay:</i> $2 \cdot 10^{-5}$ <i>z3r:</i> $4 \cdot 10^{-8}$	I	L, F
H6	<i>q, mm, so1Ay</i>	4	3	$4,2 \cdot 10^{-8} - 7,2 \cdot 10^{-8}$	R, I	L
H7	<i>ju</i>	3	1	$6,6 \cdot 10^{-7} - 1,5 \cdot 10^{-4}$	B	
H9	<i>ju</i>	1	1	$3,1 \cdot 10^{-8} - 4,0 \cdot 10^{-6}$	R/L, S	O
H14	<i>q, mu</i>	2	2	<i>q:</i> $2,1 \cdot 10^{-6} - 2,1 \cdot 10^{-4}$ <i>mu:</i> $3 \cdot 10^{-7} - 9,6 \cdot 10^{-6}$	R	L, O
H16	<i>mmR</i>	1	1	$2,6 \cdot 10^{-8} - 1,4 \cdot 10^{-7}$	R	L, F
H17	<i>Subrosionsgerinne</i>	1	1	$2 \cdot 10^{-7} - 2,7 \cdot 10^{-8(5)}$	L	
H23	<i>mu</i>	3	1 ⁽⁴⁾	$1,1 \cdot 10^{-7} - 1,9 \cdot 10^{-7}$	R, I/S	L, F
H24b	<i>so1-2</i>	4	2 ⁽⁴⁾	$2,3 \cdot 10^{-10} - 2,3 \cdot 10^{-8}$		L, F
P9	<i>km</i>	1	1	keine Daten		O
P13	<i>mmR, so2-so3</i>	3	3 ⁽⁴⁾	$3,1 \cdot 10^{-8} - 9,5 \cdot 10^{-7}$	R	L, F
P15	<i>ko</i>	1	1 ⁽⁴⁾	$1,9 \cdot 10^{-12} - 1,7 \cdot 10^{-6}$		L, F
P16	<i>mu</i>	1	1 ⁽⁴⁾	$9,8 \cdot 10^{-8}$		L, F
P17	<i>km1</i>	1	1 ⁽⁴⁾	$1,4 \cdot 10^{-6}$		L, F
R5	<i>mu</i>	1	1	$6 \cdot 10^{-12} - 2,5 \cdot 10^{-10}$	R	T
R6	<i>mu</i>	1	1	$1,8 \cdot 10^{-10} - 8,6 \cdot 10^{-6}$	R	T
R7	<i>mu</i>	6	1	$1 \cdot 10^{-12} - 2,5 \cdot 10^{-10}$	R	T
R8	<i>mu</i>	6	1	$4,5 \cdot 10^{-11} - 1 \cdot 10^{-9}$	R	T
S1	<i>su</i>	–	–	$2,2 \cdot 10^{-7} - 6,4 \cdot 10^{-7}$		
M1	<i>su</i>	–	–	$2 \cdot 10^{-6}$		

⁽¹⁾ k_f -Werte aus Hydrotests (Pumpversuche, Einschwingversuche und Einbohrlochmessungen) kompiliert in [Colenco 2006; Tab. 3] und für die R-Tiefbohrungen aus Packertests kompiliert in [Colenco 2006; Tab. 4]. In [Colenco 2006] sind auch die Referenzen zu den einzelnen Messwerten gegeben.

⁽²⁾ B = Bilineares Fließregime; L = Lineares Fließregime; R = Radiales Fließregime; I = Infiltrationsgrenze; S = Staugrenze.

⁽³⁾ L = Lange Filterstrecke; F = Freie Filterstrecke; O = Oberkante der Filterstrecke oberflächennah; T = Tiefbohrung >400 m.

⁽⁴⁾ Formation geologisch sehr heterogen.

⁽⁵⁾ Werte nicht belastbar (wegen Fließgeometrie und Heterogenität zu unsicher).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 55 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

3.3 QUELLEN, DRAINAGEN UND VORFLUTER

Seit den 1980er-Jahren wurden im Rahmen des hydrogeologischen Untersuchungsprogramms mehr als 100 Quellen, Brunnen, Schächte, Drainagen und Vorfluter katalogisiert [GSF 1994]. Diese wurden als „M“-Messstellen bezeichnet und mit den fortlaufenden Nummern (M0 bis M112) katalogisiert. Von diesen hydrologischen Messstellen erhielten 29 ein Messwehr und ein Teil davon auch einen Pegelschreiber oder eine Wasseruhr [GSF 1994]. An weiteren 30 Messstellen wurden regelmäßig Messungen der hydrologischen Parameter (z.B. Schüttung, spezifische elektrische Leitfähigkeit, etc.) durchgeführt. Von Ende 1999 bis 2001 wurde das hydrogeologische Überwachungsprogramm, insbesondere im Fernbereich um den Asse-Höhenzug, um ca. 90 hydrologische Messstellen (M200V bis M212V sowie M300 bis M319) erweitert [GSF 2004].

Im Jahr 2010 wurden im Rahmen einer Diplomarbeit [Seidel 2011a] alle bekannten hydrologischen Messstellen des Asse-Höhenzuges neu inventarisiert und teilweise revidiert (siehe Kap. 10.1). Dazu wurde jede Messstelle aufgesucht, ihr Zustand dokumentiert, die hydrochemische Beschaffenheit des Wassers vor Ort bestimmt und, wenn möglich, die Quellschüttung bzw. der Abfluss ermittelt. Im Zuge dieser Erfassung wurden nicht mehr auffindbare Messstellen ausgegliedert und eine Reihe von Quellen bzw. Vorflutern in das Messnetz (Bezeichnung M400 bis M408) aufgenommen.

Die in den Jahren 2010 bis 2011 im Hinblick auf ihre GW-Beschaffenheit beprobten Vorfluter und Quellen sind in Tab. 3.4 sowie in Abb. 3.1 dargestellt. Die von [Seidel 2011a] revidierte Übersicht aller M-Messstellen ist mit Angaben zur Geologie und zur Schüttung in Tab. A.4 im Anhang gezeigt, die jeweiligen Koordinaten und Höhenlagen sind in Tab. A.5 dokumentiert. Eine graphische Darstellung der jeweiligen Positionen ist in Abb. A.1 bis Abb. A.4 im Anhang gezeigt.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 56 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 3.4: Übersicht über die in den Jahren 2010 und 2011 beprobten Messstellen „M“ am Asse-Höhenzug. Die Lokalität der Messstellen ist in Abb. 3.1 dargestellt.

Messstelle	Höhenlage (mNN)	Geologische Formation	Bezeichnung und Bemerkungen
M2	176	<i>mu</i>	Pastorenquelle; wird nach [GSF 1994] zeitweilig von Salzwasser gespeist; Teil der ehemaligen Wasserversorgung Groß Vahlberg
M10	140	<i>so</i>	Quelle nördlich von Schacht Asse 1 (Rötquelle)
M15	107	<i>mm</i>	Gefasste Quelle mit Überlauf östlich Groß Denkte; nach [GSF 1994] zeitweilig versiegt
M17	142	<i>s</i>	Quelle der ehemaligen Wasserversorgung Groß Denkte
M20	121	<i>mu</i>	Fischteichgelände am Falkenheim; soll nach [GSF 1994] zeitweilig Salzwasser führen
M21	130	<i>mm</i>	Quelle im Wildgehege W Falkenheim; gefasst mit Rohr an Weiher
M25	139	Vorfluter	Rothebach in Wittmar
M63	111	Störung s/z	Salzwasserquelle im Bleier Graben
M305	92	Störung su/m	Salzwasserquelle zwischen Barnstorf und Watenstedt
M401	152	Vorfluter	Ammerbeek nördlich Remlingen



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 57 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

4 GRUNDWASSERGANGLINIEN

Die Standrohrspiegelhöhen in den Messstellen des Asse-Höhenzuges stellen die wesentlichen Basisdaten zur Beschreibung der Grundwasserbewegung innerhalb des Deckgebirges der Asse-Struktur dar. Die Darstellung ihres zeitlichen Verlaufs als Ganglinien erlaubt es zudem, die Grundwasserdynamik in das unter- und oberirdische Abflussgeschehen, d.h. in das klimatische Regime und den Wasserkreislauf einzuordnen. Zudem lassen sich aus der Korrelation der Grundwasserganglinien mit Niederschlagsereignissen sowie mit anderen Einflussfaktoren, wie z.B. Luftdruckschwankungen, hydraulische Eigenschaften der erschlossenen hydrostratigraphischen Einheit ableiten. Insgesamt ist es bei der Auswertung der Ganglinien prinzipiell erforderlich, die im Deckgebirge der Asse-Struktur auftretenden sehr unterschiedlich mineralisierten Grundwässer und der daraus folgenden inhomogenen räumlichen Dichteverteilung durch eine Umrechnung der Standrohrspiegelhöhe in eine äquivalente Süßwasserdruckspiegelhöhe zu berücksichtigen.

Dementsprechend erfolgt die Darstellung der Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 mit den folgenden Zielsetzungen:

- Bereitstellung von Süßwasserdruckspiegelhöhen zur Darstellung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge der Asse-Struktur (z.B. für den GW-Gleichenplan).
- Korrelation mit dem saisonalen und mehrjährigen Niederschlagsregime sowie mit einzelnen GW-Neubildungsereignissen, um daraus die Abhängigkeit von der hydrostratigraphischen und strukturgeologischen Position der Messstelle sowie von hydraulischen Eigenschaften der angeschlossenen Grundwasserkörper abzuleiten. Letzterem Zweck dient auch die Korrelation mit Luftdruckschwankungen und Gezeitenkräften.
- Dokumentation von langfristigen Trends unter Einbezug der seit den 1970er und 1980er Jahren erfassten Daten, die Hinweise auf mögliche Veränderungen in den hydrogeologischen Fließsystemen des Asse-Deckgebirges geben können.
- Bewertung der Funktionalität der Messstellen, i.W. im Hinblick auf Zuflüsse von Oberflächenwasser in das Beobachtungsrohr sowie Vergleich der momentan teilweise in fast allen GWM installierten zwei verschiedenen Druckaufnehmersysteme.

Um diese Ziele zu erreichen, werden nach der Beschreibung der Methodik und Datengrundlage (Kap. 4.1), die Grundwasserganglinien geordnet nach der jeweiligen durch die Messstelle erschlossenen Formation vom Liegenden zum Hangenden dargestellt (Kap. 4.2). Dies ermöglicht einen Vergleich der Charakteristika der Ganglinien für die verschiedenen hydrostratigraphischen Einheiten. Zudem wird die Ganglinie auf mehreren zeitlichen Skalen zusammen mit Niederschlagsereignissen dargestellt, um lang- und kurzfristige Trends sowie Reaktionen auf meteorologische Ereignisse aufzuzeigen. Hierbei fließen auch die in [GSF 1994] sowie in den div. GSF-Jahresberichten (u.a. [GSF 1989a; GSF 1990; GSF 1994; GSF 1996; GSF 1999; GSF 2000; GSF 2002b]) kompilierten Daten aus den hydrologischen Jahren vor 2002 in die Darstellung ein. Dies betrifft insbesondere wichtige Ereignisse, wie z.B. das Abpumpen der Süßwassersäule in den tiefen GWM. Eine zusammenfassende Darstellung dieser Ergebnisse ist in Kap. 4.3 dargestellt. Eine statistische Auswertung der Ganglinien und eine Zeitreihenanalyse erfolgt in Kap. 4.4.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 58 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Aufgrund der Beobachtung, dass die Ganglinie in mehreren Messstellen eine deutliche Korrelation mit Luftdruckschwankungen sowie in einigen Messstellen auch mit Gezeitenkräften zeigen, werden diese Korrelationen jeweils gesondert in den Kapiteln 4.5 und 4.6 dargelegt und für die Luftdruckeinflüsse auch exemplarisch für mehrere Messstellen ausgewertet. Abschließend erfolgt in den Kapiteln 4.7 und 4.8 eine Bewertung der Messstellen-Funktionalität und der Druckaufnehmersysteme.

4.1 METHODIK UND DATENGRUNDLAGE

4.1.1 Kabellichtlotmessung

Mit dem Kabellichtlot wird der Abstich, d.h. die Höhendifferenz zwischen Messpunkthöhe und Wasserspiegel in den Grundwassermessstellen und Schächten, bestimmt (Abb. 4.1). Die Messgenauigkeit des Kabellichtlots beträgt in Abhängigkeit von der Kabellänge ca. 0,5 bis 1 cm.

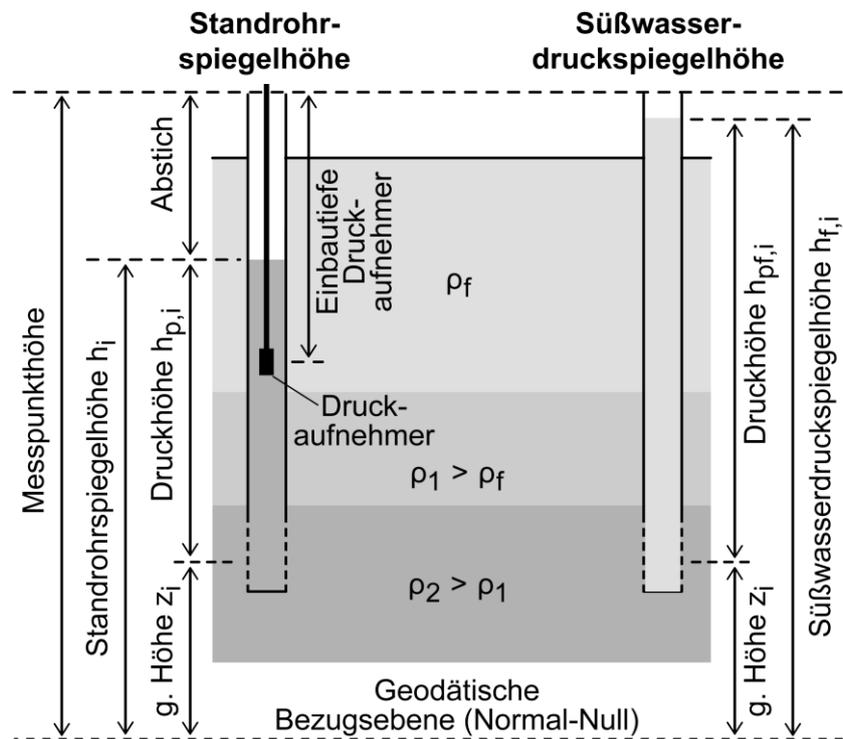


Abb. 4.1: Prinzipische Skizze zu den Begrifflichkeiten bei der Bestimmung des Abstichs, der Standrohrspiegelhöhe und der äquivalenten Süßwasserdruckspiegelhöhe in einem Grundwasserkörper mit Dichteschichtung (ρ_f = Dichte von Süßwasser).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 59 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

4.1.2 Druckaufnehmer und Datenlogger

Zur automatischen Erfassung der Druckhöhe kommen seit den 1970er-Jahren Differenzdruckaufnehmer der Firma Seba Hydrometrie, Kaufbeuren, zum Einsatz. An diese Druckaufnehmer sind Datenlogger des Typs MDS-III der Firma Wasser-Abwasser-Systemtechnik (W.A.S.) GmbH, Braunschweig, angeschlossen, die über eine mit dem Messkabel verbundenen Druckausgleichsleitung den Wasserdruck gegen den Luftdruck bestimmen und somit keine weitere Luftdruckkompensation benötigen. Die Genauigkeit wird von Seba für dieses System mit $\pm 0,1$ % des Messbereichs angegeben.

Seit dem Jahr 2010 wird dieses System durch Diver-Druckaufnehmer der Firma Schlumberger Water Systems (vormals Van Essen Instruments, Delft, Niederlande) ergänzt. Als Besonderheit weisen die Druckaufnehmer dieses Typs eine korrosionsbeständige keramische Außenhülle auf (Diver-Typ „Cera“). Zudem beinhaltet das Diver-System einen zusätzlichen Temperatursensor. Die Auslesung erfolgt bei diesem System mittels des Diver-Mate III Datenübertragungssystems. Im Unterschied zu den Seba-Druckaufnehmern verfügen die Diver-Druckaufnehmer als Absolutdruckaufnehmer nicht über eine automatische Luftdruckkorrektur (siehe Ausführungen zur Luftdruckkompensation in Kapitel 4.1.3). Vom Hersteller werden für den Diver-Druckaufnehmer eine Genauigkeit von 0,05 % und eine Auflösung von 0,02 % des jeweiligen Messbereichs angegeben. In Bezug auf die Temperaturmessung weisen laut Hersteller alle Modelle einen Messbereich von -20 bis +80 °C, eine Genauigkeit von $\pm 0,1$ °C und eine Auflösung von 0,01 °C auf.

Die Messwerte der vorhandenen Seba- und Diver-Druckaufnehmer werden in wählbaren Zeitschritten (>1 min) auf den Datenloggern abgespeichert und ca. einmal im Monat ausgelesen. Bei beiden Druckaufnehmertypen werden die Messwerte in Meter Süßwassersäule über dem Druckaufnehmer ausgegeben, wobei beim Diver-Druckaufnehmer die Luftdruckkompensation erst nach dem Auslesen durchgeführt wird. Es ist ferner zu beachten, dass die Seba-Druckaufnehmer den barometrischen Druck auf der Höhe des Druckaufnehmers berücksichtigen, wogegen der für die Luftdruckkompensation für die Diver-Druckaufnehmer verwendete Luftdruck über dem Wasserspiegel (vgl. Kapitel 4.1.3) gemessen wird. Dementsprechend arbeiten die zwei Systeme bedingt durch den Höhenunterschied mit leicht unterschiedlichen Werten für den Luftdruck. Für die nachfolgenden Berechnungen wird diese Differenz aber als vernachlässigbar angenommen¹.

Ein wichtiger Unterschied zwischen der Seba- und der Diver-Druckaufnehmermessung ergibt sich durch die Vorgehensweise beim Auslesen der Datenlogger:

- Die aufgezeichneten Messwerte des Seba-Druckaufnehmers werden ca. einmal im Monat beim Auslesen mit dem aktuellen Messwert für die Abstichhöhe aus der Kabellichtlotmessung kalibriert.
- Beim Diver-System werden die aufgezeichneten Messwerte ausgelesen, ohne dass eine Kalibrierung mittels der Abstichhöhe durchgeführt wird.

¹ Im Falle der Messstellen des Asse-Höhenzuges ist der Höhenunterschied stets <100 m, was einem maximalen barometrischen Druckunterschied von ca. 12 hPa oder 12 cm Süßwassersäule entspricht.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 60 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die Auswertung der ausgelesenen Daten erfolgt in einem ersten Schritt mit der jeweiligen Software: File Inspector Version 1.7.3 (W.A.S) für die Seba Druckaufnehmer/MDS-Datenlogger und Diver-Office Version 2011.1 (Schlumberger Ltd.) für die Diver Druckaufnehmer. Dabei wurden die ausgelesenen ein- bis dreimonatigen Messintervalle zusammengefügt und die Datenreihen der Süßwasserdruckhöhen in ein ASCII („American Standard Code for Information Interchange“)- bzw. in ein Excel-Dateiformat überführt. Dies dient zum einen der weiteren Aufbereitung der Daten (siehe unten), zum andern auch der Sicherung der Messwerte in einem langfristig lesbaren, nicht-proprietären Datenformat, wie z.B. als CSV- („comma-separated-values“)-Datei. Anschließend werden in einem ersten Schritt die im Folgenden aufgeführten, zumeist kurzzeitig (<1 h) auftretenden fehlerhaften Messwerte diagnostiziert:

- Softwarebedingt kommt es jeweils an den Auslesezeiten vereinzelt zur Abspeicherung doppelter Messwerte.
- Softwarebedingt werden vereinzelt Messwerte als Nullwerte abgespeichert.
- Durch Defekte des Druckaufnehmers bzw. Datenloggers entstehen unrealistische kurzfristige und extreme Schwankungen der Süßwasserdruckhöhe nach oben und nach unten (auch z.T. mit Nullwerten).
- Durch die Anhebung der Druckaufnehmer aus der Messstelle für die Wasserprobennahme, die – im Fall der Diver-Druckaufnehmer – auch zum Auslesen der Messwerte durchgeführt werden muss, kommt es zu kurzfristigen Schwankungen der Druckhöhe.

Diese kurzzeitigen Messintervalle mit fehlerhaften Daten wurden (z.B. zur Vermeidung von „Null-Werten“) eliminiert. Längere Intervalle (>1 h) mit fehlenden oder fehlerhaften Messwerten, die v.a. durch den Ausfall eines Druckaufnehmers oder Datenloggers bedingt sein können, wurden für jede Messstelle dokumentiert, um einen Überblick über die Qualität der Datenreihen und die Zuverlässigkeit der Druckaufnehmersysteme zu geben (vgl. Kap. 4.8). Im Falle des Auftretens von fehlerhaften, d.h. nicht plausiblen Messwerten, wurden diese ebenfalls aus den Ganglinien eliminiert.

4.1.3 Luftdruckkompensation

Der absolute Gesamtdruck $P_{i,Tot}$ am Punkt i im Standrohr (Abb. 4.1) entspricht der Summe des hydrostatischen Druckes $P_{i,Stat}$ der Wassersäule im Standrohr oberhalb des Punktes i und des barometrischen Druckes P_{Baro} an der Wasseroberfläche:

$$P_{i,Tot} = P_{i,Stat} + P_{Baro} \quad (4.1)$$

Um bei den Absolutdruckaufnehmern vom Typ Diver aus dem gemessenen Gesamtdruck $P_{i,Tot}$ den für die Berechnung der Süßwasserdruckspiegelhöhe $h_{f,i}$ nötigen hydrostatischen Druck $P_{i,Stat}$ zu bestimmen wird eine Luftdruckkompensation benötigt.

Beim Diver-Druckaufnehmersystem geschieht diese Luftdruckkompensation üblicherweise mit Hilfe eines speziellen übertägig installierten Druckaufnehmers, dem sogenannten Baro-Diver. Seit dem 18.03.2011 sind dazu Druckaufnehmer jeweils in einem Büro wenige 100 m entfernt von



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 61 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Schacht Asse 2 und oberhalb des Wasserspiegels in Schacht Asse 1 installiert worden. Da der Einsatz der Diver-Druckaufnehmer bereits im April 2010 begann, war es für die Luftdruckkorrektur erforderlich, die alle 10 Minuten aufgezeichneten Luftdruckwerte der meteorologischen Station am Schacht Asse 2 zu verwenden, die dafür mittels linearer Interpolation in das 15-minütige Messintervall der Druckaufnehmer in den GWM überführt wurden. Für den wartungsbedingten Ausfall dieser meteorologischen Station vom 15.01.2011 bis zum 16.01.2011 wurde ein linearer Verlauf (Anstieg von 985 mbar auf 1013 mbar) angenommen.

Aufgrund der Tatsache, dass für die zukünftige Auswertung die Ganglinien der Druckhöhe der Diver-Druckaufnehmer direkt in der Diver-Office Software mittels der Luftdruckmessungen der beiden Baro-Diver kompensiert werden sollen, wurden für den Zeitraum 01.04.2011 bis zum 31.10.2011 die Daten dieser Baro-Diver mit den Luftdruckdaten der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 verglichen (Abb. 4.2).

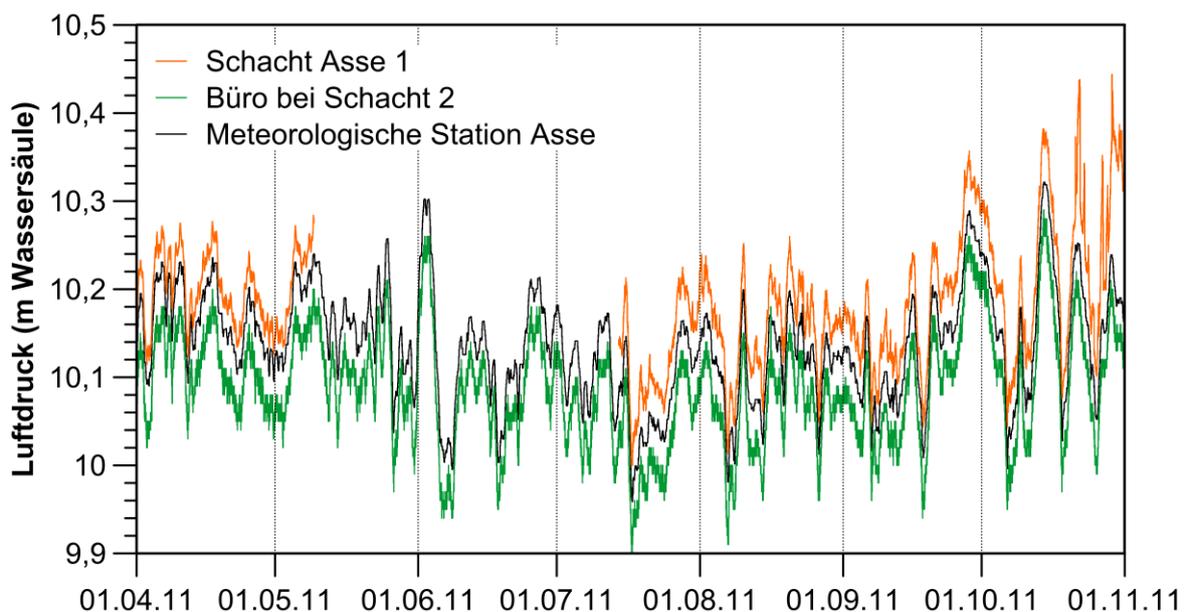


Abb. 4.2: Vergleich der Luftdruckmessungen der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 mit dem Baro-Diver in Schacht Asse 1 sowie nahe Schacht Asse 2 für den Zeitraum 01.04. bis 31.10.2011 (Ausfall Baro-Divers Schacht Asse 1 09.05. – 14.07.2011).

Der Vergleich der Luftdruckmessreihen beider Systeme in Abb. 4.2 zeigt zumeist eine gute Übereinstimmung der absoluten Werte und der Trends. Die Luftdruckwerte des Druckaufnehmers in Schacht 1 liegen jeweils ca. 2 cm bis 4 cm Wassersäule *über* den Werten der meteorologischen Station. Dahingegen liegen die Luftdruckwerte des Druckaufnehmers bei Schacht 2 ca. 2 cm bis 4 cm Wassersäule *unter* den Werten der meteorologischen Station.

Somit zeigt dieser Vergleich, dass die Daten des Druckaufnehmers im Büro bei Schacht Asse 2 für die Luftdruckkorrektur zugrunde gelegt werden können. Zudem verdeutlicht er, dass bei der Nutzung von Absolutdruckaufnehmern die Vorhaltung eines redundanten Systems zur Luftdruckmessung zu empfehlen ist.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 62 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

4.1.4 Süßwasserdruckspiegelhöhe

Die aus der sehr unterschiedlichen Mineralisierung der Grundwässer resultierende heterogene Dichteverteilung im Deckgebirge der Asse-Struktur erlaubt es nicht, den hydraulischen Gradienten im System direkt aus den Standrohrspiegelhöhen in den Messstellen abzuleiten. Dies wird erst durch die im Folgenden erläuterte Umrechnung in eine äquivalente Süßwasserdruckspiegelhöhe ermöglicht (vgl. [Post et al. 2007]). Die dabei verwendeten Begrifflichkeiten stützen sich auf [Adam et al. 2000].

Im wassergesättigten Abschnitt eines GW-Leiters ist die Standrohrspiegelhöhe h_i für einen Punkt i (dieser entspricht normalerweise dem Zentrum der Filterstrecke) wie folgt definiert:

$$h_i = z_i + h_{p,i} \quad (4.2)$$

mit z_i geodätische Höhe (mNN)

$h_{p,i}$ Druckhöhe am Punkt i (m)

Die Druckhöhe $h_{p,i}$ entspricht dabei der Länge der Wassersäule über dem Punkt i :

$$h_{p,i} = P_{i,Stat} / (\rho_i \cdot g) \quad (4.3)$$

mit $P_{i,Stat}$ am Punkt i von der darüber liegenden Wassersäule ausgeübter hydrostatischer Druck (Pa)

g Fallbeschleunigung ($\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$)

ρ_i Mittlere Dichte des Wassers in der Wassersäule (kg/m^3)

Somit ist die an einem Punkt i herrschende Druckhöhe $h_{p,i}$ nicht nur vom hydrostatischen Druck $P_{i,Stat}$ der Wassersäule sondern auch von deren mittleren Dichte abhängig. Um in Systemen mit heterogener Dichteverteilung die in verschiedenen, räumlich verteilten Messstellen gemessenen Druckhöhen vergleichen zu können, kann man aus dem gemessenen hydrostatischen Druck und der Referenzdichte ρ_f von Süßwasser eine äquivalente hydraulische Süßwasserdruckspiegelhöhe $h_{f,i}$ (engl.: "fresh water head") berechnen (Abb. 4.1):

$$h_{f,i} = z_i + P_{i,Stat} / (\rho_f \cdot g) \quad (4.4)$$

mit $h_{f,i}$ Äquivalente hydraulische Süßwasserdruckspiegelhöhe (mNN)

ρ_f Mittlere Dichte von Süßwasser (= $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$)

Zwischen der Druckhöhe $h_{p,i}$ am Punkt i und der entsprechenden Süßwasserdruckspiegelhöhe $h_{f,i}$ kann, bei bekannter mittlerer Dichte ρ_i für die Wassersäule in der Messstelle, wie folgt umgerechnet werden:



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 63 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

$$h_{f,i} = z_i + h_{p,i} \cdot (\rho_i / \rho_f) \quad (4.5)$$

Im Fall der Seba- und Diver-Druckaufnehmer sind aufgrund der unterschiedlichen Werte die von der jeweiligen Datenloggersoftware ausgegeben werden, verschiedene Ansätze für die Umrechnung in eine Süßwasserdruckspiegelhöhe notwendig:

Beim Seba-Druckaufnehmersystem wird der gegen den Luftdruck kompensierte Wasserdruck im Niveau des Druckaufnehmers gemessen, d.h. der hydrostatische Druck der Wassersäule oberhalb des Druckaufnehmers. Die Druckhöhe wird dann durch die Datenlogger-Software mittels der monatlichen Kabellichtlotmessung des Abstichs kalibriert und als Wasserspiegelhöhe unter dem Messpunkt ausgegeben. Dieser Wert kann dann mittels der Messpunkthöhe in die Standrohrspiegelhöhe und diese dann, mithilfe der mittleren Dichte des Grundwassers, in eine entsprechende Süßwasserdruckspiegelhöhe umgerechnet werden. Die hierfür verwendeten Dichtekorrekturterme sind im folgenden Kap. 4.1.5 beschrieben. Da die Kalibrierung beim Seba-System nur mittels der einmal pro Monat gemessenen Abstichhöhen erfolgt, kann es jeweils beim monatlichen Kalibrieren zu sprunghaften Werteveränderungen in der Ganmlinie kommen.

Beim Diver-System misst die Drucksonde den absoluten Druck im Niveau des Druckaufnehmers. Dieser Druck wird als Meter Süßwassersäule über dem Druckaufnehmer ausgegeben. Nach erfolgter Luftdruckkompensation entspricht dieser Wert der Süßwasserdruckhöhe für das Intervall zwischen Druckabnehmer und Wasserspiegel. Für das Intervall zwischen dem Zentrum der Filterstrecke und dem Druckabnehmer muss somit eine gesonderte Dichtekorrektur angewendet werden. Dabei kann der in Tab. Tab. 4.1 angegebene Dichtekorrekturwert für die gesamte Wassersäule nur verwendet werden, sofern der Diver-Druckaufnehmer noch in dem zumeist mit Süßwasser gefüllten Bereich des Beobachtungsrohres eingebaut ist. Ist der Diver-Druckaufnehmer jedoch im tieferen, mit höher mineralisiertem Wasser gefüllten Bereich des Beobachtungsrohres eingebaut, bedarf es einer partiellen Dichtekorrektur, abhängig von der mittleren Dichte des Wassers sowie von der Länge des Intervalls unterhalb der Einbautiefe des Divers bis zum Zentrum Filterstrecke. Da die GWM des Asse-Höhenzuges im oberflächennahen Bereich, d.h. in weniger als 100 m Tiefe, in dem auch die meisten Druckaufnehmer eingebaut sind, zumeist nur gering mineralisierte Grundwässer aufweisen ist diese gesonderte Korrektur jedoch nur für eine Messstellen (GWM H24b) notwendig (siehe folgendes Kapitel).

4.1.5 Dichtemessung und Dichtekorrekturterme

Für die Umrechnung der gemessenen Abstich- bzw. Druckhöhen in eine äquivalente Süßwasserdruckspiegelhöhe muss die mittlere Dichte der Wassersäule in der Grundwassermessstelle bekannt sein. Die mittlere Dichte ergibt sich aus der vertikalen Dichteverteilung in der Messstelle. Die vertikale Dichteverteilung wurde in den Messstellen des Asse-Höhenzuges direkt durch die in den Messstellen gefahrenen geophysikalischen Dichtelogs bestimmt. Aus der mittleren Dichte der Wassersäule wurde ein Dichtekorrekturterm berechnet. Dieser Dichtekorrekturterm entspricht einer Druckhöhe in Meter Süßwassersäule die zur Abstich- bzw. Standrohrspiegelhöhe addiert werden muss, um eine äquivalente Süßwasserdruckspiegelhöhe zu erhalten.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 64 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Für die Bestimmung der vertikalen Dichteverteilung in den Messstellen des Asse-Höhenzuges wird eine Dichtesonde der Firma GEOCOM/ETECOM vom Typ MDS-42 benutzt [Soler 2006]. Diese Sonde ist für die Dichtebestimmung in flüssigen Medien bis zu einer Dichte von $1,5 \text{ g/cm}^3$ und bis zu einer Tiefe von 1000 m ausgelegt. Nach [Soler 2006] wurde diese Sonde alle zwei Jahre durch die Lieferfirma Login-Gommern in zwei Medien bekannter Dichte („Luft und Wasser“) kalibriert, wobei eine Kalibrierung im Jahr 2004 erfolgt ist¹. Nach Angaben der Lieferfirma hat diese Sonde eine Genauigkeit von $0,02 \text{ g/cm}^3$ und eine Auflösung von $0,002 \text{ g/cm}^3$. Ergänzt wird die Messung der Dichteverteilung jeweils durch eine Messung der Leitfähigkeits- und Temperaturverteilung. Die entsprechende Sonde der Firma GEOCOM/ETECOM für diese Parameter ist vom Typ 4. Sie ist für die Messung der elektrischen Leitfähigkeit bis zu $370\,649 \mu\text{S/cm}$ ausgelegt. Dabei werden die drei Messbereiche 0 bis $3364 \mu\text{S/cm}$, 0 bis $33\,602 \mu\text{S/cm}$ und 0 bis $370\,649 \mu\text{S/cm}$ verwendet. Das Umschalten zwischen den drei Bereichen erfolgt dabei elektrisch und wird von einer Übertageeinheit aus gesteuert. Die elektrische Leitfähigkeitsmessung dieser Sonde ist nicht temperaturkompensiert. Diese Sonde wird ähnlich wie bei der Dichtesonde etwa alle zwei Jahre zur Lieferfirma zwecks Kalibrierung mittels Natriumchlorid-Lösungen bekannter Leitfähigkeit gebracht. Über den bei der Kalibrierung verwendeten Leitfähigkeitsbereich liegen keine Daten vor.

Die vertikale Dichteverteilung in den GWM sowie die daraus abgeleiteten Dichtekorrekturterme sind von 1988 bis 2004 jeweils in den hydrogeologischen Jahresberichten des GSF dokumentiert. In den darauffolgenden hydrologischen Jahren 2005 bis 2011 wurden keine Dichteprofile gemessen. Die für den Untersuchungszeitraum dieses Berichtes in den relevanten Jahresberichten [GSF 2003; GSF 2004] dokumentierten Dichteprofile in den GWM und die Dichtekorrekturterme weisen die folgenden Besonderheiten auf:

- Die vertikale Dichteverteilung zeigt z.T. nicht plausible Wertebereiche. Beispielsweise wurde für die tiefen Abschnitte der R-Bohrungen eine Dichte von $>1,3 \text{ g/cm}^3$ gemessen. Dieser Dichtewert entspricht nicht den aus den Wasserproben bestimmten Dichtewerten von ca. $1,2 \text{ g/cm}^3$, die typisch sind für die beprobte gesättigte Natriumchlorid-Lösung in diesen GWM (vgl. Kap. 8.2).
- Die Dichtekorrekturterme einzelner Messstellen (z.B. GWM R5) weisen für die Jahre 2002, 2003 und 2004 starke Schwankungen auf, die mittels der gezeigten, prinzipiell sehr ähnlichen Verläufe der Dichteprofile für die entsprechenden Jahre nicht nachvollziehbar sind.
- Das Grundwasser in den GWM H6 und H16 wurde als Süßwasser klassifiziert, obwohl die hydrochemische Zusammensetzung für diese GWM Brackwasser mit gegenüber Süßwasser erhöhten Dichtewerten anzeigt (vgl. Kap. 8.2).

Dementsprechend werden die in den Jahresberichten [GSF 2003; GSF 2004] genannten Dichtekorrekturterme *nicht* für die Umrechnung in eine äquivalente Süßwasserdruckspiegelhöhe verwendet, da die Dichtesonde während diesem Zeitraum vermutlich fehlerhafte Werte geliefert hat. Stattdessen wird für die Dichtekorrektur auf Werte aus [Colenco 2006] zurückgegriffen. Die in [Colenco 2006] angegebenen Dichtekorrekturterme wurden aus den in den Jahren vor 2002 gefahrenen

¹ Anmerkung: Somit umfasst der kalibrierte Messbereich *nicht* den über die Dichte von Süßwasser hinausgehenden Bereich.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 65 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Dichtelogs (vgl. Tab. Tab. 4.1) – in Anlehnung an die an den Wasserproben gemessenen Dichtewerte – bestimmt. Die entsprechenden, in diesen Jahren gemessenen vertikalen Dichteprofile weisen generell plausible Wertebereiche auf. Zudem ergibt der Vergleich der Dichtemessungen für die Wasserproben in den jeweiligen Messstellen für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 – mit Ausnahme der GWM H3, H7, H23 und P9 (siehe unten) – keine wesentlichen Änderungen der Dichte gegenüber dem in Tab. Tab. 4.1 für jede Messstelle genannten Zeitpunkt der Dichtemessung (vgl. Kap. 8.2).

Insgesamt werden die in [Colenco 2006] dargestellten Dichtekorrekturterme als plausibel und auch für den Zeitraum 2002 bis 2011 als repräsentativ erachtet. Es ist aber hervorzuheben, dass potentielle Änderungen der vertikalen Dichteverteilung während dieses Zeitraums nicht berücksichtigt werden.

Die GWM H3, H7, H23 und P9 weisen nach den Dichtemessungen an einzelnen Wasserproben Süßwasser bzw. sehr gering mineralisiertes Brackwasser auf. Dementsprechend ist eine Umrechnung der Standrohrspiegelhöhen in eine äquivalente Süßwasserdruckspiegelhöhe für diese GWM nicht notwendig und es wurden somit für diese GWM *nicht* die in [Colenco 2006] angegebenen Dichtekorrekturwerte verwendet.

Für die Messstellen im hydrogeologischen Messnetz des Asse-Höhenzuges, für die kein Dichteprofil gefahren wurde und somit kein Dichtekorrekturterm bestimmt worden ist, wurde die Dichteverteilung, falls möglich, aus den gefahrenen elektrischen Leitfähigkeitslogs sowie aus den im Labor an tiefenhorizontiert genommenen Wasserproben gemessenen Dichten bzw. elektrischen Leitfähigkeiten wie folgt abgeleitet:

- Für die GWM H24b ist aufgrund der Einbautiefe des Diver-Druckaufnehmers im salzwassererfüllten Bereich der Verrohrung ein modifizierter Dichtekorrekturterm zur Berechnung der Süßwasserdruckspiegelhöhe notwendig. Dieser errechnet sich aus der durchschnittlichen Dichte von $1,05 \text{ g/cm}^3$ im Intervall von der Einbautiefe des Diver-Druckaufnehmers bis zum Zentrum der Filterstrecke.
- In den im Jahr 2008 bzw. 2009 neu errichteten GWM PN1 und PN2 wurden bis zum Zeitpunkt der Berichtserstellung keine Dichtelogs gefahren. Nach den hydrochemischen Laboranalysen aus dem Jahr 2010 führen beide GWM jeweils Brackwasser mit einer sehr geringen Mineralisierung, deren Größenordnung für die flachen und tiefen Beobachtungspiegel ähnlich ist. Diese Einschätzung wird gestützt durch einen Dichte-Laborwerte von $1,001 \text{ g/cm}^3$ für eine Wasserprobe vom 01.05.2010 aus der GWM PN1. Unter der Annahme einer Dichte von $1,001 \text{ g/cm}^3$ als mittlere Dichte für die gesamte Wassersäule in diesen Messstellen lässt sich ein Dichtekorrekturterm von ca. 4 cm für die jeweiligen Flachpegel und von ca. 14 cm bzw. 20 cm für die beiden Tiefpegel abschätzen.

GWM	Tiefe der Probennahme	Dichte	elektrische Leitfähigkeit
PN1-FP	41 m	$1,001 \text{ g/cm}^3$	3,24 mS/cm
PN1-TP	185 m	keine Angabe	2,72 mS/cm
PN2-FP	44 m	keine Angabe	2,69 mS/cm
PN2-TP	230 m	keine Angabe	3,99 mS/cm



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 66 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- Im Schacht Asse 3 wurde im Jahr 2004 ein geophysikalisches Profil der Temperatur und elektrischen Leitfähigkeit (LF) gefahren. Ein Profil der Dichteverteilung liegt nicht vor. Die stufenweise Erhöhung der LF von ca. 2 mS/cm auf ca. 14,5 mS/cm in ca. 34 m Tiefe und auf ca. 34 mS/cm in 150 m Tiefe ergibt, in Verbindung mit den Dichtewerten aus den Wasserproben für diese Tiefenbereiche (vgl. Kap. 8), einen Dichtekorrekterterm von 25,8 m. Dieser Wert bezieht sich auf die Tiefe des Salzspiegels von 396,6 m unter dem Messpunkt (in diesem Bereich findet auch ein wesentlicher Grundwasserzufluss in Schacht Asse 3 statt).
- Für den Schachtbrunnen M1 ist in den hydrogeologischen Jahresberichten des GSF kein Profil der Dichte dokumentiert. Ein Profil existiert nur für die LF [GSF 2003]. Dieses Profil zeigt durchgehend eine LF von ca. 0,9 mS/cm. Dementsprechend liegt in diesem Brunnen Süßwasser vor.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 67 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 4.1: Dichtekorrekturterme für die GWM des Asse-Deckgebirges.

Mess- stelle	Mess- punkthöhe	Datum Dich- temessung	Abstich	Dichtekorrekturterm [Colenco 2006]	Dichtekorrekturterm (dieser Bericht)
	(mNN)		(m)	(m)	(m)
H1	152,40	20.10.1991	4,71	0,13	0,13
H3	226,19	19.08.1992	60,23	0,74	Süßwasser ⁽¹⁾
H5	188,21	21.09.2001	12,57	7,96	7,96
H6	179,98	25.07.1989	12,52	0,71	0,71
H7	145,62	30.07.1988	0,44	0,56	Brackwasser ^{(1), (2)}
H9	145,10	26.09.1996	8,89	0,13	0,13
H14	148,60	25.09.1996	7,12	0,25	0,25
H16	176,20	24.09.1996	16,22	0,19	0,19
H17	173,32	21.08.2000	45,09	4,27	4,27
H23	225,36	21.10.1996	64,59	0,1	Süßwasser
H24b	205,48	18.09.2001	23,24	7,48	7,48 / 6,7 ⁽³⁾
P9	164,12	18.09.1996	3,55	0,08	Süßwasser ⁽¹⁾
P13	213,58	18.09.1996	21,2	0,62	0,62
P15	159,82	20.09.1996	31,73	Süßwasser	Brackwasser ⁽²⁾
P16	201,73	k.A.	k.A.	k.A.	Süßwasser ⁽¹⁾
P17	133,09	15.05.1992	17,9	0,8	0,8
R5	172,64	25.09.2001	47,52	44,54	44,54
R6	193,32	01.09.1999	124,74	20,03	20,03
R7	181,32	26.09.2001	61,79	64,85	64,85
R8	169,65	24.09.2001	40,46	9,11	9,11
PN1-FP	176,95	22.10.2008	20,6	–	0,04 ⁽¹⁾
PN1-TP	176,95	22.10.2008	27,4	–	0,14 ⁽¹⁾
PN2-FP	207,37	17.03.2009	39,7	–	0,04 ⁽¹⁾
PN2-TP	207,37	17.03.2009	46	–	0,20 ⁽¹⁾
S1	160,45	30.09.1996	23,88	0,11	0,11
S3	170,17	–	–	–	25,8 ⁽¹⁾
M1	192,53	–	–	–	Süßwasser

⁽¹⁾ Wert abgeschätzt aus LF-Profil der Wassersäule bzw. aus Dichtemessung einzelner Proben (vgl. Kap. 8).

⁽²⁾ Brackwasser mit sehr geringer Mineralisierung, d.h. eine Dichtekorrektur ist nicht erforderlich.

⁽³⁾ Ersterer Wert ist der Dichtekorrekturterm für die gesamte Wassersäule in der GWM, letzterer Wert bezieht sich auf das Intervall unterhalb des Diver-Druckaufnehmers bis zur Filterstrecke.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 68 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

4.1.6 Datengrundlage

Die Bestimmung der Wasserspiegelhöhen (Standrohrspiegelhöhen) in den Messstellen des Asse-Höhenzuges erfolgt zum einen manuell mittels der etwa einmal im Monat durchgeführten Kabellichtlotmessung (Abstich). Entsprechende Daten der Abstichmessungen standen für alle Messstellen im hydrogeologischen Messnetz aus den hydrologischen Jahren 2010 und 2011 zur Verfügung.

Zum anderen werden zwei verschiedene Druckaufnehmer (Seba- und Diver-System) und Datenlogger eingesetzt, um die Wasserspiegelhöhe in den Messstellen automatisch in 1- bis 15-minütigen Intervallen wie folgt zu erfassen:

Die Seba-Druckaufnehmer und MDS-Datenlogger sind seit den 1970er und 1980er-Jahren in den H-Bohrungen (H1, H3, H5, H6, H9, H14, H16, H17, H23, H24b), in den P-Bohrungen (P9, P13, P15, P16), in den R-Bohrungen (R5 bis R8) sowie in Schacht Asse 1 und Schachtbrunnen M1 installiert (Tab. 4.2). Die zur Verfügung stehenden Ganglinien der hydraulischen Druckhöhe der Seba-Druckaufnehmer umfassen seit Beginn der jeweiligen Aufzeichnung einen Wert pro Tag und ab dem 01.11.2001 einen Wert alle 15 Minuten. Für die Detektion der periodisch wiederkehrenden Wasserspiegelabfallereignisse in Schacht Asse 1 und möglicher Reaktionen in GWM H17 wird für diese beiden Messstellen einmal pro Minute ein Wert abgespeichert.

Die Diver-Druckaufnehmer wurden, mit Ausnahme der GWM R6 und des Schachtbrunnens M1, seit 2010 zusätzlich zu den Seba-Druckaufnehmern in den o.g. H-, P- und R-Bohrungen und in Schacht Asse 1 eingebaut. Darüber hinaus wurden Diver-Druckaufnehmer auch in GWM H7 und P17 sowie in den neuen PN-Bohrungen PN1 und PN2 (dort jeweils im Flach- und im Tiefpegel) und in Schacht Asse 3 installiert (Tab. 4.2). Für diesen Bericht standen GW-Ganglinien der Diver-Druckaufnehmer mit einem Messwert alle 15 Minuten seit Beginn der jeweiligen Aufzeichnung zur Verfügung.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 69 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 4.2: Einbaudaten der Seba- und Diver-Druckaufnehmer in den GWM.

Mess- stelle	Mess- punkt- höhe	Seba-Einbautiefe unter Messpunkt	Beginn der Messungen (Seba)	Diver-Einbautiefe unter Messpunkt	Beginn der Messungen (Diver)
	(mNN)	(m)		(m)	
H1	152,40	10,15	07.12.1979	–	–
H3	226,19	63,28	02.01.1984	81,50	03.06.2010
H5	188,21	17,41	14.03.1973	19,57	04.05.2010
H6	179,98	16,37	02.03.1981	34,52	07.05.2010
H7	145,62	–	–	20,00	26.10.2010
H9	145,10	12,34	02.01.1983	21,45	21.06.2010
H14	148,60	10,91	14.03.1973	21,55	02.06.2010
H16	176,20	19,82	21.07.1973	31,57	22.06.2010
H17	173,32	51,86	02.01.1978	57,01	01.06.2010
H23	225,36	68,75	15.04.1986	81,62	18.05.2010
H24b	205,48	52,42	30.04.1986	82,00	15.06.2010
P9	164,12	7,65	08.10.1987	11,90	28.04.2010
P13	213,58	25,23	07.02.1986	31,62	28.04.2010
P15	159,82	37,44	13.01.1988	44,34	23.06.2010
P16	201,73	38,32	05.02.1986	51,50	27.04.2010
P17	133,09	–	–	51,58	17.06.2010
R5	172,64	76,36	06.07.1985	101,59	08.06.2010
R6	193,32	81,70	02.01.1986	–	–
R7	181,32	63,92	20.03.1987	81,34	09.06.2010
R8	169,65	40,44	13.02.1987	80,80	14.06.2010
PN1-FP	176,95	–	–	50,94	21.04.2010
PN1-TP	176,95	–	–	51,05	21.04.2010
PN2-FP	207,37	–	–	43,94	22.04.2010
PN2-TP	207,37	–	–	81,05	22.04.2010
S1	160,45	33,04	24.10.1973	80,80	11.05.2011
S3	170,17	–	–	60	11.05.2011
M1	192,53	26,65	03.11.2010	–	–



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 70 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

4.2 GANGLINIEN DER SÜßWASSERDRUCKSPIEGELHÖHE

Im Folgenden werden einleitend für jede Messstelle des hydrogeologischen Messnetzes kurz die geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse, Besonderheiten des Ausbaus sowie die Ergebnisse durchgeführter hydraulischer Tests dargestellt. Daran anschließend werden für jede Messstelle die Grundwasserganglinien der Seba-Druckaufnehmer für die hydrologischen Jahre von 2002 bis 2011 gezeigt. Diese Darstellung dient in erster Linie dazu, längerfristige und/oder periodische Veränderungen der Süßwasserdruckspiegelhöhe sowie mögliche Einflussfaktoren (z.B. das Niederschlagsregime) aufzuzeigen. Zum anderen werden auch die Extremwerte der Süßwasserdruckspiegelhöhe sowie besondere Ereignisse (z.B. Pumpversuche, Zustrom von Oberflächenwasser, Ausfälle des Druckaufnehmers etc.) in diesem Zeitraum deutlich. Für jede GWM findet sich zudem in Anhang B eine Abbildung mit der Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe seit Beginn der Messungen in den 1970er- und 1980er-Jahren *ohne* eine Umrechnung in eine Süßwasserdruckspiegelhöhe, die zur Dokumentation langfristiger Trends dient. In dieser Abbildung sind auch die jeweils besonderen Ereignisse hervorgehoben¹.

Weiterhin wird mit einer zweiten, zeitlich höher aufgelösten Abbildung, für jede Messstelle ein direkter Vergleich der mit den Seba- und Diver-Druckaufnehmern erhaltenen Grundwasserganglinien für die hydrologischen Jahre 2010 und 2011 gezeigt. Für diesen Zeitraum werden auch die Temperaturganglinien des Diver-Druckaufnehmers und die Ganglinien der täglichen Niederschlagssummen auf der Basis der Daten der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 dargestellt. Dies ermöglicht zum einen direkte Vergleiche der beiden Druckaufnehmersysteme und kann zum anderen mögliche Niederschlags- und/oder Oberflächenwassereinflüsse anzeigen.

Anschließend erfolgt dann eine nochmals zeitlich höher aufgelöste Darstellung der Grundwasserganglinien für den Zeitraum 01.04. bis 01.05.2011, in der auch die Niederschlagssummen (mm Niederschlag/10 min) und die Ganglinie des Luftdrucks der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 gezeigt sind. Diese Darstellung erlaubt es (i) eine mögliche Reaktion der Ganglinie auf einzelne Niederschlagsereignissen zu zeigen, (ii) eine eventuelle Korrelation der Ganglinie mit Luftdruckschwankungen festzustellen und (iii) einen Einfluss von Gezeitenkräften zu detektieren.

Die Messstellen werden nach [GSF 1994] bzw. [Franzke 2009] entsprechend der stratigraphischen Einstufung der Formation, die sie mit ihrer Filterstrecke erschließen, gruppiert. Bei Messstellen, deren Filterstrecke mehrere Formationen erschließt, wurde die Messstelle der Formation mit der höchsten Transmissivität zugeordnet. Damit können die Messstellen vom Liegenden zum Hangenden den nachfolgend aufgeführten fünf Formationen bzw. lithologischen Einheiten zugeordnet werden²:

¹ Zu beachten ist, dass Ausfallzeiten der Druckaufnehmer bzw. der Datenlogger in den Abbildungen in Anhang B nicht gesondert hervorgehoben werden.

² Die GWM H2 und P14 sind hier nicht aufgeführt, da in ihnen keine Messung des Grundwasserganglinien erfolgt (vgl. Ausführungen in Kap. 3.2).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 71 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Buntsandstein

Unterer Buntsandstein (*su*) der NE-Flanke: H3, Schacht 1 und Schachtbrunnen M1

Oberer Buntsandstein (*so*) der SW-Flanke: H24b

Muschelkalk

Unterer Muschelkalk (*mu*) der NE-Flanke: H1

Unterer Muschelkalk (*mu*) der SW-Flanke: H14, H23, P16, PN1, PN2, R5 bis R8

Mittlerer Muschelkalk (*mm*) der SW-Flanke: H6¹, H16, P13

Keuper

Mittlerer Keuper (*km*) der NE-Flanke: P17

Mittlerer Keuper (*km*) der SW-Flanke: P9

Oberer Keuper (*ko*) der SW-Flanke: P15

Jura

Unterer Jura (*ju*) der SW-Flanke: H7 und H9

Residualer Zechstein

Hutgestein (*z3r*): H5

Subrosionsgerinne am Salzspiegel im Hutgestein: H17

In Abhängigkeit von der geologischen Interpretation in [GSF 1994] erlaubt diese Zuordnung, die auch im Kapitel 8 zur GW-Beschaffenheit verwendet wird, insgesamt eine bessere Übersicht der hydrogeologischen Charakteristik der jeweiligen GW-Leiter.

4.2.1 Buntsandstein

GWM H3 (*su*, NE-Flanke)

Die GWM H3 liegt etwa 240 m nordwestlich von Schacht Asse 2 in der NE-Flanke der Asse-Struktur. Die Filterstrecke dieser GWM ist dreifach geteilt. Die oberste Filterstrecke erschließt den Hauptrogenstein des Unteren Buntsandstein (*su2*). Die darunter liegende kurze Filterstrecke erschließt den Übergang Hauptrogenstein zum Liegenden, d.h. Ton- und Sandsteine des Unteren Buntsandstein (*su2*), und das unterste Filterrohr weitere Rogensteinbänke des Unteren Buntsandstein (*su2*) bis zur maximalen Tiefe von 98 m. Die beiden Druckaufnehmer sind in ca. 63,3 m (Seba) und 81,5 m (Diver) Tiefe zwischen der mittleren und der unteren Filterstrecke positioniert.

¹ Die GWM H6 erschließt zusätzlich zu den Kalk-/Mergelsteinen des *mm* (8 m) noch 32 m mächtige quartäre Deckschichten sowie im Liegenden den *so1* über eine Mächtigkeit von etwa 30 m. Die Tiefenlage des Hauptzuflusshorizontes in dieser Messstelle ist unklar, es ist aber wahrscheinlich der *mm*.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 72 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Messpunkthöhe	226,19 mNN
Länge Filterstrecke inkl. Unterbrechungen	55 m
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	64 m
Bandbreite k_f -Werte (Tab. 3.3)	$2 \cdot 10^{-6} - 8 \cdot 10^{-5}$ m/s
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	Süßwasser

Die Schwankungsbreite der Süßwasserdruckspiegelhöhe der GWM H3 liegt für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 im Bereich von ca. 4 m, d.h. zwischen ca. 166 mNN und 170 mNN (Abb. 4.3). Somit liegt die Süßwasserdruckspiegelhöhe mehr als 50 m unter der Geländeoberfläche und mehrere Meter unter der Hauptrogensteinbank. Es zeigen sich deutliche mehrjährige sowie saisonale periodische Schwankungen (Abb. 4.3), die auch in den Jahren vor 2002 bis zurück zum Beginn der Messungen im Jahr 1983 zu beobachten sind (Abb. B.1 im Anhang). Diese Schwankungen zeichnen den Verlauf der über- und unterdurchschnittlich niederschlagsreichen Jahre mit jährlichen Hochlagen jeweils in den Monaten März bis Juli, gefolgt von einem graduellen Abfall hin zum Jahresende gut nach. Nach den niederschlagsreichen Jahren 2002 und 2007/08 (vgl. Kap. 5.2.1) tritt diese Hochlage im jeweiligen Folgejahr bereits mit Beginn des Monats Januar auf und zeigt eine deutlich höhere Amplitude als in den übrigen Jahren.

Eine unmittelbare Korrelation der Ganglinie mit einzelnen Niederschlagsereignissen ist nicht zu beobachten (Abb. 4.4 und Abb. 4.5). Der Vergleich der Ganglinie des Divers mit den Luftdruckmessungen zeigt weiterhin eine deutliche und unmittelbare Reaktion der Süßwasserdruckspiegelhöhe auf Luftdruckschwankungen (Abb. 4.5), während eine Korrelation mit den Gezeitenkräften nicht zu beobachten ist.

Die Daten des am 03.06.2010 eingebauten Diver-Druckaufnehmers zeigen im Vergleich zur Ganglinie des Seba-Druckaufnehmers für bestimmte Zeitperioden einen deutlich gedämpfteren Verlauf der Süßwasserdruckspiegelhöhe an (Abb. 4.4). Dies trifft insbesondere auf die Sommermonate 2011 zu, für die der Seba-Druckaufnehmer zudem eine um bis zu 40 cm höhere Druckspiegelhöhe aufweist. Weiterhin wird für den Abfall der Süßwasserdruckspiegelhöhe nach dem Maximum im Januar-Februar 2011 durch den Diver-Druckaufnehmer ein gradueller Verlauf angezeigt, während der Seba-Druckaufnehmer sowie die Abstiche deutlich stärkere Variationen aufweisen.

Die Temperaturen des Grundwassers liegen ca. zwischen 10,45 °C im Winter bis 10,65 °C im Sommer; wobei sich das Einsetzen der Schneeschmelze im Januar 2011 durch einen Abfall der Temperatur um ca. 0,1 °C zeigt (Abb. 4.4).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 73 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

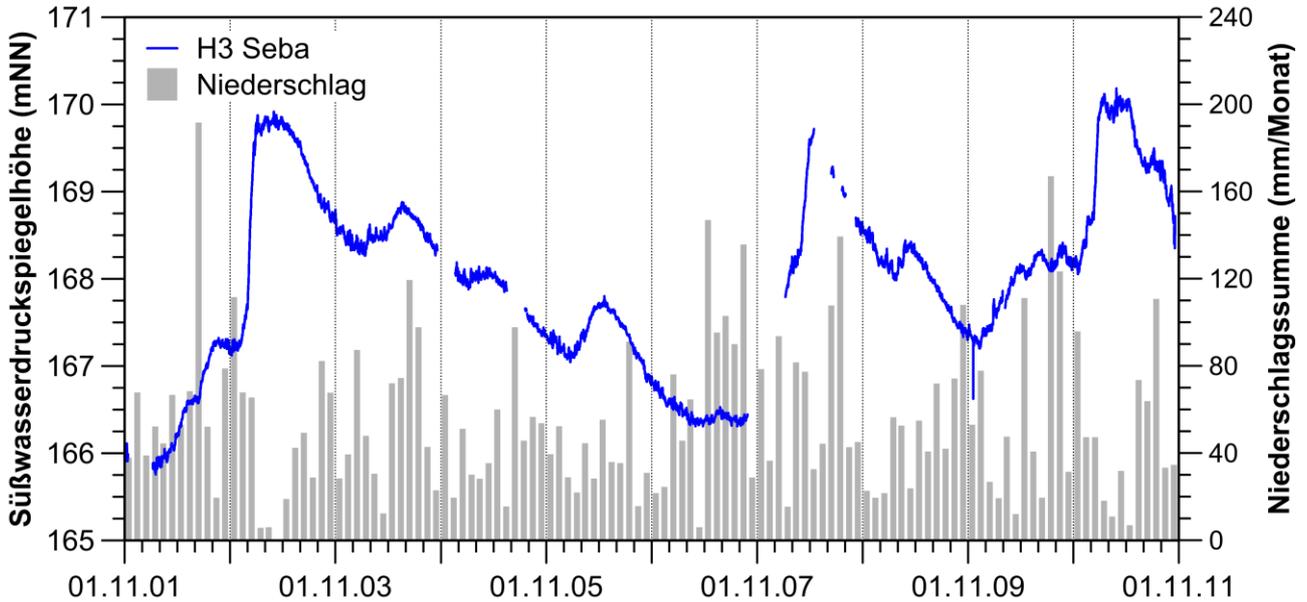


Abb. 4.3: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H3 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).

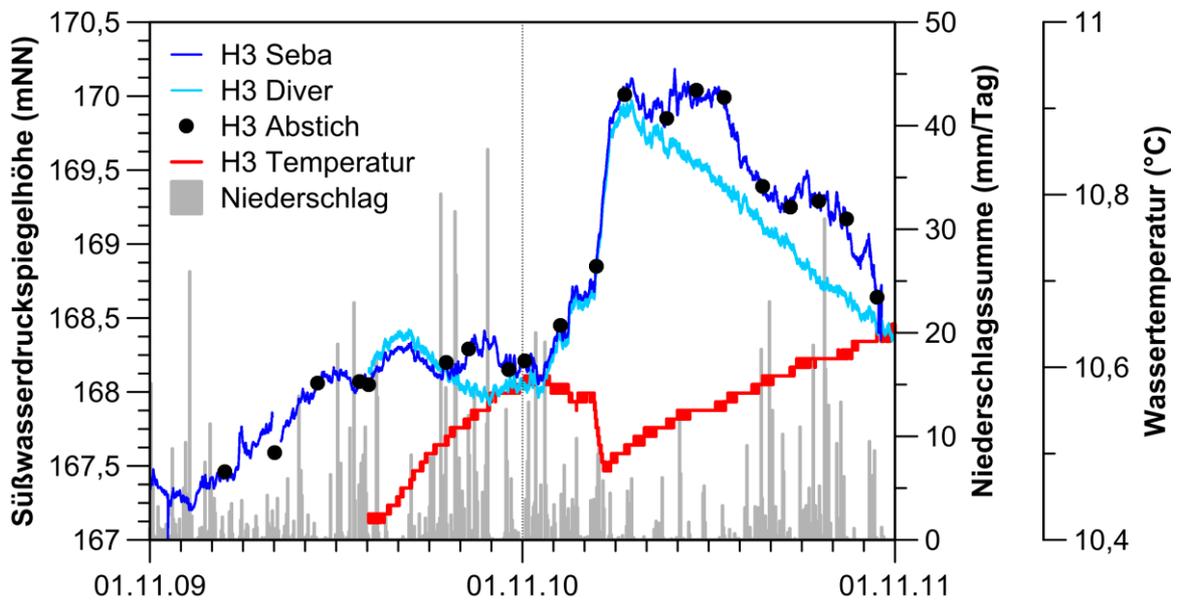


Abb. 4.4: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H3 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 74 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

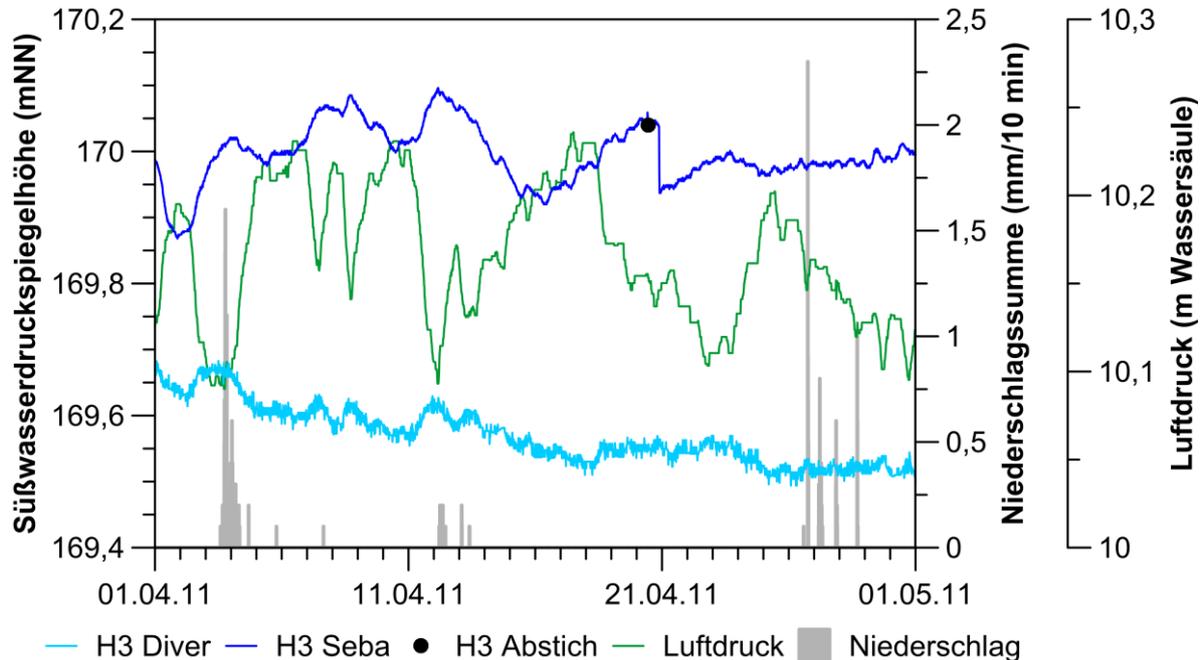


Abb. 4.5: Vergleich der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe im Monat April 2011 in der GWM H3 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.

Schacht Asse 1 (su, NE-Flanke)

Der Schacht Asse 1 erschließt bis zu einer Tiefe von 190 m unter Messpunkthöhe tonige und siltige Schichten mit Sandsteinbänken des Unteren Buntsandstein (*su*), darunter durchörterte er residualen Zechstein (Hutgestein) bis zum Salzspiegel in 214 m Tiefe (-53,6 mNN) und weitere Einheiten des Oberen Zechstein. Die Einbautiefe der beiden Druckaufnehmer liegt bei 33 m (Seba) und 80,8 m (Diver) unter der Messpunkthöhe.

Messpunkthöhe	160,45 mNN
Schachttiefe unter Messpunkthöhe (bis Salzgrusfüllung)	136 m
Bandbreite der k_f -Werte (Tab. 3.3)	$2,2 \cdot 10^{-7} - 6,4 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	0,11 m

Der Schacht Asse 1 weist einen Durchmesser von 5,5 m und eine Querschnittsfläche von $23,75 \text{ m}^2$ auf. Er ist bis 215 m Tiefe unter Messpunkthöhe (Mauerfuß), d.h. bis wenig unter den Salzspiegel, ausgekleidet. Über eine Auskleidung in den tieferen Abschnitten des Schachtes und ihren heutigen Zustand liegen keine Angaben vor. Die oberste Sohle der 1906 abgesoffenen Schachanlage Asse I befindet sich in einer Tiefe von 300 m. Der Schacht ist im Zeitraum zwischen dem Absaufen und dem Jahr 1973 teilweise mit Salzgrus verfüllt worden. Ein Hindernis bei einer Tiefe von 136 m, auf dem bei Messfahrten die Sonde aufsteht, wird als Top der Salzgrusfüllung interpretiert. Über die hydraulische Leitfähigkeit des Salzgrusmaterials und eine mögliche hydraulische Verbindung zu den darunter liegenden Abschnitten des Schachtes bzw. der Schachtan-



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 75 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

lage Asse I, bzw. dem durchteuften Buntsandstein und Hutgestein, existieren keine Daten. Trotz der Verfüllung mit Salzgrus haben die Dichtemessungen ergeben, dass im zugänglichen Bereich der Schachtröhre nur sehr gering mineralisiertes Brackwasser ohne Dichteschichtung oder -gradienten vorhanden ist.

Die Schwankungsbreite der Süßwasserdruckspiegelhöhe in Schacht Asse 1 liegt für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 etwa zwischen 136 mNN bis 152 mNN. Die Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe zeigt nach einem starken Abfall des Wasserspiegels im Jahr 2002 (siehe unten) einen stetigen Anstieg um ca. 5 m bis zu einem weiteren starken Abfall um ca. 16,2 m im Jahr 2011 (Abb. 4.6). Auf diesen langfristig ansteigenden Trend sind saisonale Schwankungen von etwa 1,5 m bis 2,5 m mit einem breiten Wasserspiegelmaximum in den Sommermonaten aufgeprägt (Abb. 4.6), die auch in den Jahren vor 2002 bis zurück zum Beginn der Messungen im Jahr 1973 zu beobachten sind (Abb. B.2 im Anhang). Es lässt sich zudem eine gute Korrelation mit einzelnen Niederschlagsereignissen beobachten, wobei eine Reaktion erst bei einer bestimmten Niederschlagsintensität auftritt (Abb. 4.7). Eine Korrelation mit Luftdruckschwankungen oder Gezeitenkräften ist nicht zu beobachten (vgl. Abb. 4.8, Abb. 4.9).

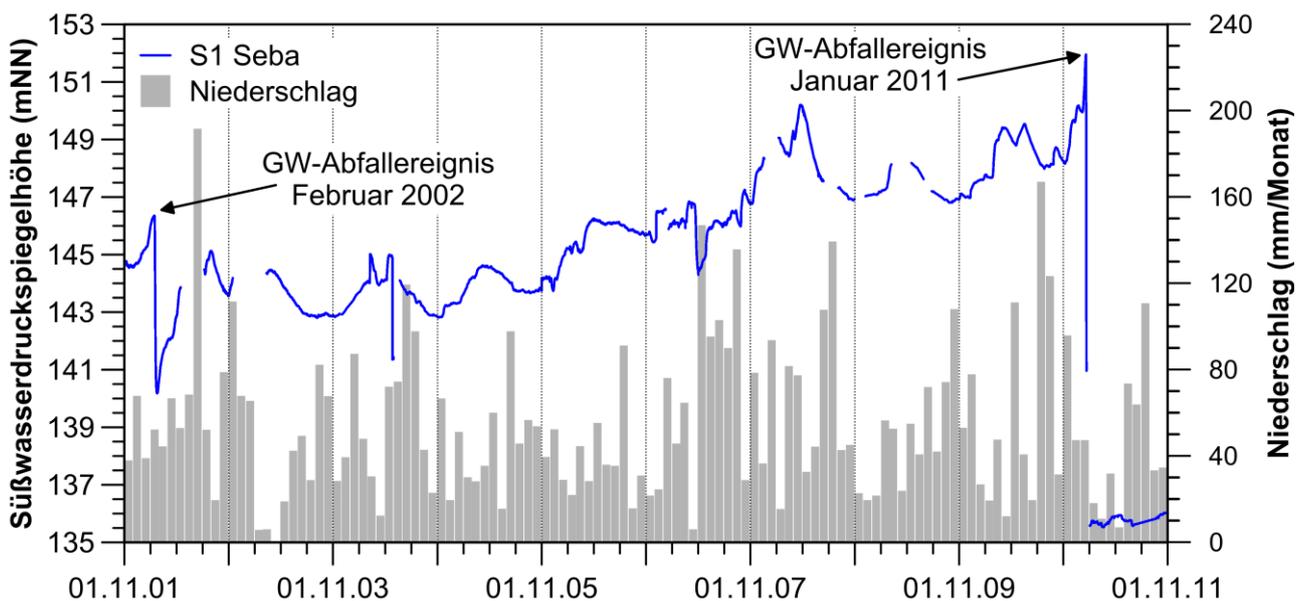


Abb. 4.6: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in Schacht Asse 1 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002 2011).

Das beobachtete, kurzzeitige Absinken des Wasserspiegels in Schacht Asse 1 im Februar 2002 und Januar 2011 stellt eine hydrogeologische Besonderheit dar. Vor 2002 wurden seit Beginn der kontinuierlichen Grundwasserspiegelmessungen 1974 bereits zwei weitere Ereignisse dieser Art in den Jahren 1987 und 1994 beobachtet (Abb. B.2). Dabei sinkt der Wasserspiegel im Schacht jeweils innerhalb weniger Tage um mehrere Meter (ca. 6,1 m bis 16,3 m) ab und bleibt entweder für einen gewissen Zeitraum (Wochen-Monate) auf dem abgesenkten Niveau bevor ein langsamer Wiederanstieg erfolgt, oder steigt direkt nach dem Ereignis langsam wieder an (Abb. 4.6).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 76 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Dem raschen Absinken des Wasserspiegels geht jeweils ein rascher Anstieg voraus (vgl. Abb. 4.6, Abb. 4.7; man beachte die Skalenänderung der y-Achse aufgrund des Abfalls des Wasserspiegels unter den Messbereich in letztgenannter Abbildung). Weitere wesentliche Parameter dieser Ereignisse sind in (Tab. 4.3) zusammengestellt.

Tab. 4.3: Charakteristik der Wasserspiegel-Abfallereignisse in Schacht Asse 1.

Datum	Ausgangswasserspiegel	Wasserspiegel nach dem Abfallereignis	Wasserspiegelabfall	Dauer	Wasservolumen	Abflussrate
	(mNN)	(mNN)	(m)	(d)	(m ³)	(l/s)
Februar 1987	145,92	133,11	12,81	21	304	0,168
Januar 1994	143,48	134,26	9,22	29	219	0,087
Februar 2002	146,38	140,31	6,07	6	133	0,257
Januar 2011	151,95	135,71	16,27	13 ⁽¹⁾	386	0,344 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Abschätzung (Minimalwert): Aufgrund der Unterschreitung des Messbereiches des Druckaufnehmers konnte erst am 02.02.2011 ein Messwert genommen werden. D.h. der abgesenkte Wasserspiegel kann bereits früher erreicht worden sein, was dementsprechend eine höhere Abflussrate zur Folge hätte.

Der bislang stärkste Abfall des Wasserspiegels seit Beginn der kontinuierlichen Wasserspiegelaufzeichnungen fand im Jahr 2011 statt (Abb. 4.6, Abb. 4.7, Abb. 4.9; man beachte die Skalenänderung der y-Achse aufgrund des Abfalls des Wasserspiegels unter den Messbereich in den beiden letztgenannten Abbildungen). Dabei senkte sich der Wasserspiegel ab dem 19. Januar um etwa 16,3 m ab. Allerdings wurde bereits nach zwei Tagen der Messbereich des Seba-Druckaufnehmers (Einbautiefe bei 140,8 mNN) unterschritten, so dass nur für den Beginn dieses Ereignisses die in Abb. 4.8 gezeigte Aufzeichnung der Wasserspiegelhöhe vorhanden ist.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 77 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

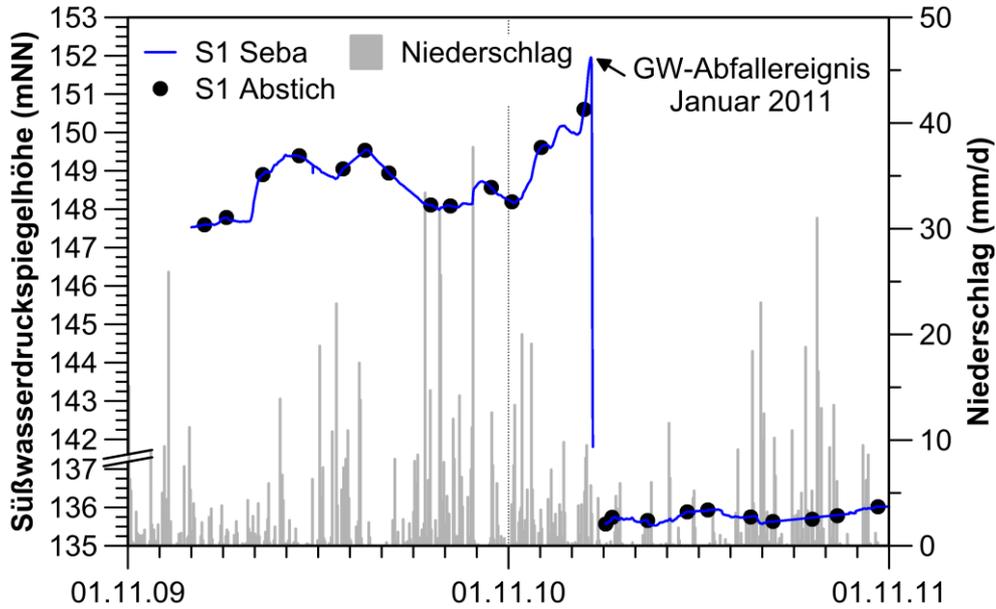


Abb. 4.7: Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in Schacht Asse 1 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).

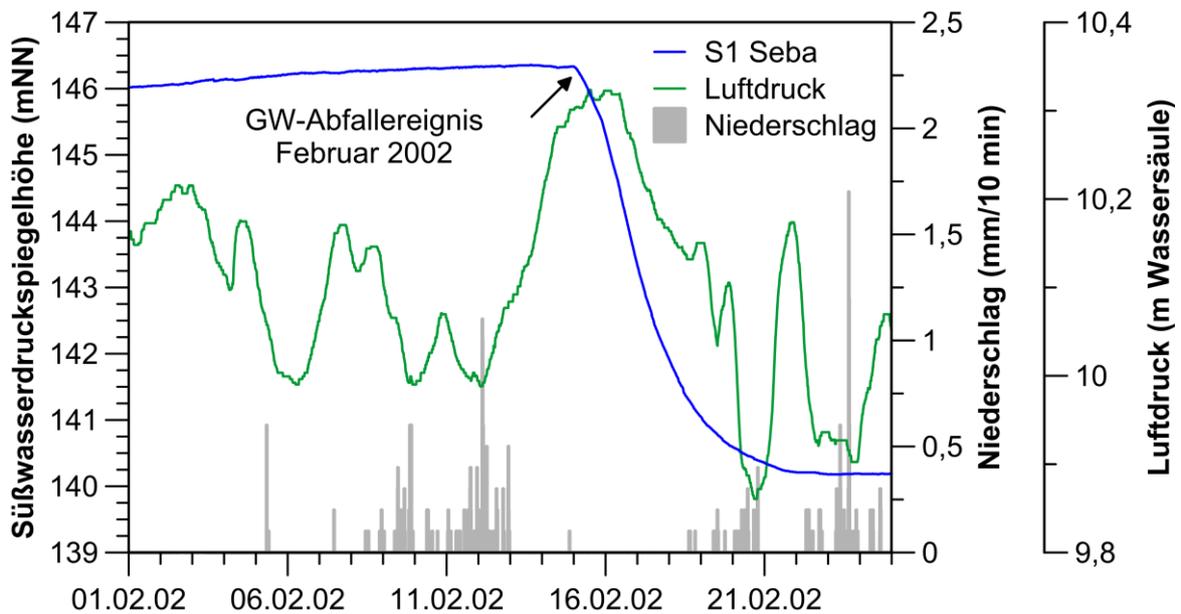


Abb. 4.8: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe in Schacht Asse 1 für den Wasserspiegelabfall im Februar 2002 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 78 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

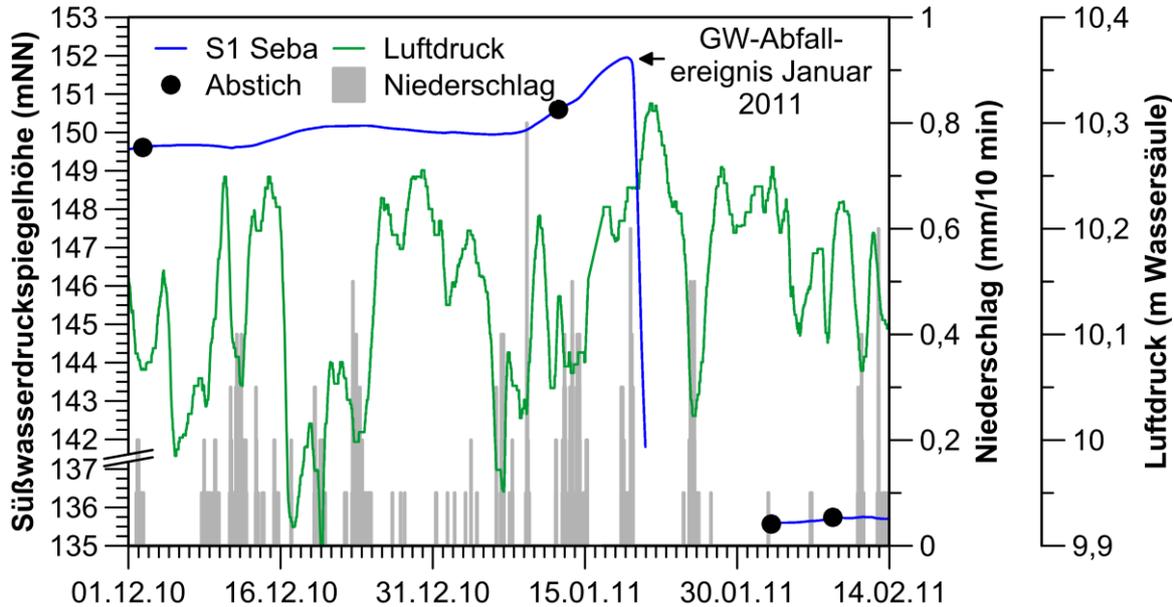


Abb. 4.9: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe in Schacht Asse 1 für den Wasserspiegelabfall im Januar 2011 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck. Die Begrenzung des Verlaufs der Ganglinie bei 141,8 mNN am 21.01.2011 resultiert aus der Unterschreitung des Messbereiches des Druckaufnehmers.

Schacht Asse 3 (su, z3r, z)

Der Schacht Asse 3 erschließt bis zu einer Tiefe von 396,3 m unter Messpunkthöhe Ton- und Gipslagen sowie Sandsteine des verstützten Deckgebirges und des Zechstein-Residualgebirges. Darunter folgen bis in eine Tiefe von 725 m Schichten des Zechstein-Salinar (Staufurt-Folge, z2). Daten zu Querschnitt und Auskleidung des Schachtes liegen nicht vor. In 675 m und in 725 m Tiefe wurden Sohlen angesetzt. Die Strecken auf diesen Sohlen haben eine maximale Erstreckung von 100 m in nördlicher bzw. westlicher Richtung und es wurden keine Abbaue angelegt. Aufgrund von Lösungszutritten wurde unterhalb von 680 m Tiefe ein Betonpropfen in den Schacht eingesetzt. Nach [Stempel 2004] wurde in den 1980er- und 1990er-Jahren häufiger Bauschutt in den Schacht Asse 3 gekippt und hydrogeologische Untersuchungen, wie z.B. das Fahren von Dichtelogs, fanden nicht statt. Erst im Jahr 2004 wurde bis zu einer Tiefe von 607 m ein geophysikalisches Log der Temperatur und der LF gefahren. Für den Schacht Asse 3 existieren Abstiche der Jahre 1976 bis 2011, die etwa einmal im Monat genommen wurden. Darüber hinaus liegen Messungen der GW-Druckhöhe mittels eines Diver-Druckaufnehmers seit dem 11. Mai 2011 vor.

Messpunkthöhe	170,17 mNN
Brunnentiefe	725 m
Bandbreite der k_f -Werte	keine Daten
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	25,8 m



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 79 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die Schwankungsbreite der Süßwasserdruckspiegelhöhe liegt für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 etwa zwischen 181,5 mNN bis 187,4 mNN (Abb. 4.10, Abb. 4.11). Saisonale Schwankungen sind nicht erkennbar. Auffällig ist ein prominenter Wasserspiegelanstieg zum Jahreswechsel 2002/03 (Abstich am 10.12.2002: 13,5 m und bei der folgenden Messung am 22.01.2003: 8,61 m) um ca. 4,9 m, der gefolgt wird von einem längerfristigen Abfall des Wasserspiegels bis Mitte des Jahres 2007. Ein vergleichbarer Wasserspiegelanstieg innerhalb eines Monats mit einer Amplitude von mehr als 8 m wurde bereits im Januar 1993 beobachtet (vgl. Abb. B.3 im Anhang). In den Jahren davor bis zum Beginn der Abstichmessungen 1976 gibt es ebenfalls rasche Änderungen des Wasserspiegels (z.B. Ende der 1970er-Jahre), der charakteristische Verlauf der Ganglinien bei den beiden Wasserspiegelabfallereignissen 1993 und 2002 ist aber nicht ausgeprägt (Abb. B.3). Mögliche Einflüsse der zeitweise durchgeführten Verfüllung des Schachtes mit Bauschutt können mangels Daten der Verfüllvolumina [Stempel 2004] nicht abgeschätzt werden.

Eine Reaktion der GW-Ganglinie von Schacht Asse 3 auf einzelne Niederschlagsereignisse oder Luftdruckschwankungen ist visuell nicht erkennbar, es lässt sich jedoch eine hochfrequente Schwankungen des Wasserspiegels mit einer Amplitude von ca. 2 cm bis 4 cm beobachten (Abb. 4.11, Abb. 4.12). Die Temperatur des Grundwassers in Schacht Asse 3 zeigt seit Beginn der Messungen im Mai 2011 einen leicht ansteigenden Trend von 11,6 bis 11,8 °C (Abb. 4.11).

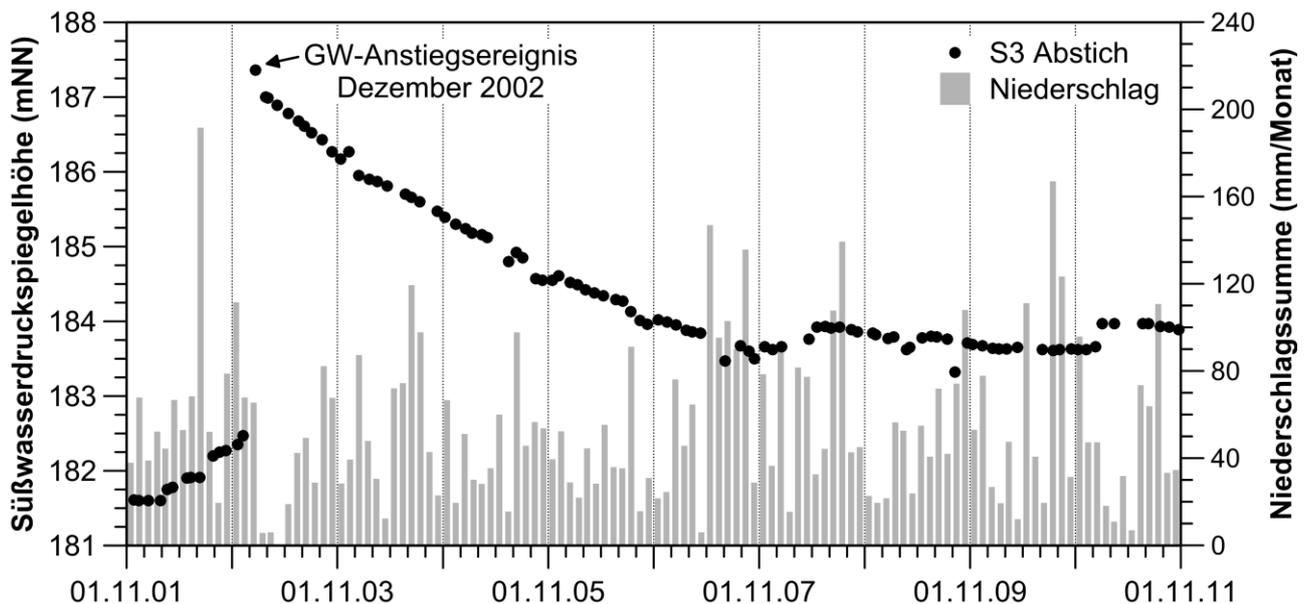


Abb. 4.10: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe in Schacht Asse 3 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 80 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

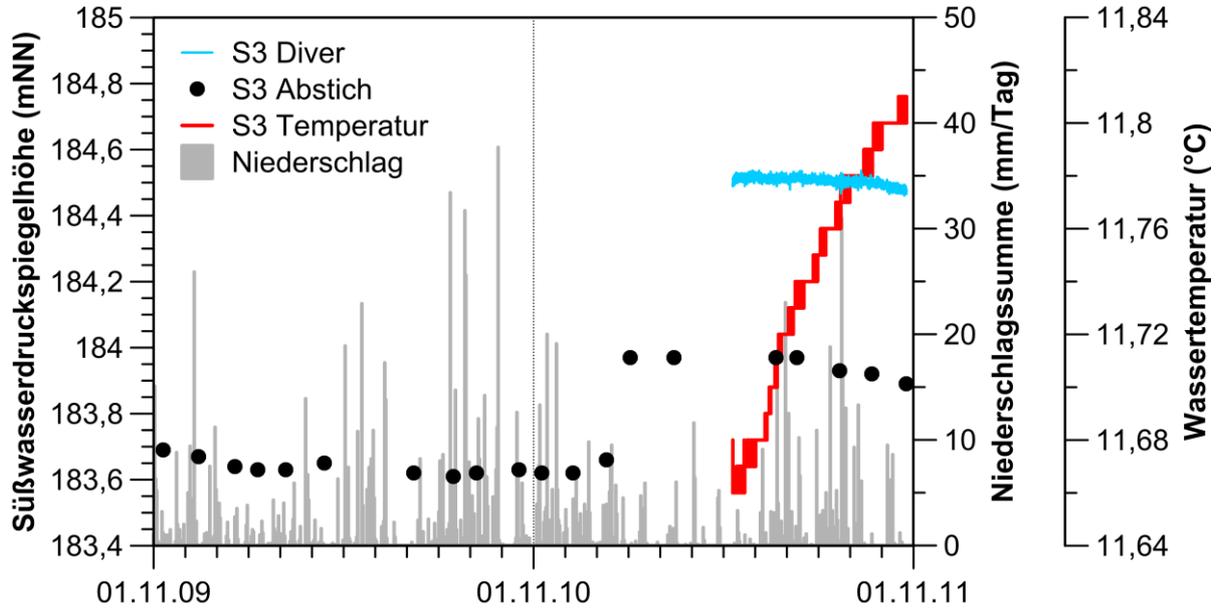


Abb. 4.11: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in Schacht Asse 3 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).

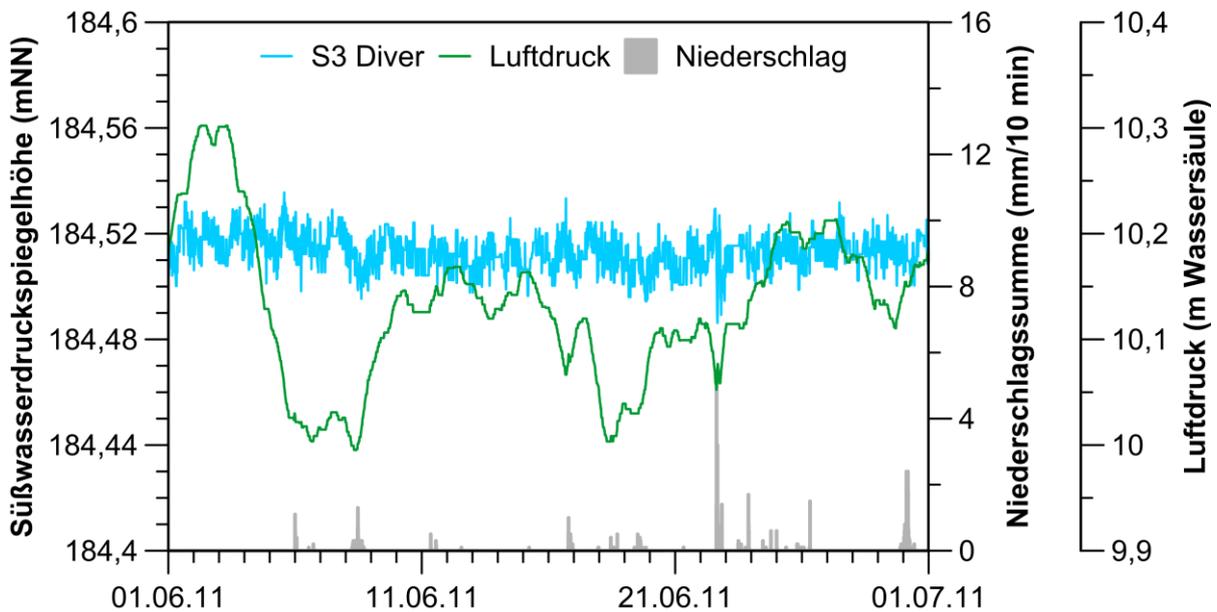


Abb. 4.12: Vergleich der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe im Monat Juli 2011 in Schacht Asse 3 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 81 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Schachtbrunnen M1 (su, NE-Flanke)

Der Schachtbrunnen M1 erschließt Ton- und Siltsteine des Unteren Buntsandstein etwa 40 m nordwestlich von Schacht Asse 2 und etwa 12 m nordöstlich von Schacht Asse 4. Der gemauerte Schacht hat einen Durchmesser von 3 m. Die Messung des Grundwasserspiegels in diesem Brunnen erfolgt seit dem 03.11.2010 mit einem Seba-Druckaufnehmer der in einer Tiefe von 26,65 m unter dem Messpunkt¹ eingebaut ist.

Messpunkthöhe	192,53 mNN
Brunnentiefe	28 m
k_f -Wert aus Langzeitpumpversuch (Tab. 3.3)	$2 \cdot 10^{-6}$ m/s
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	Süßwasser

In Schachtbrunnen M1 erfolgt eine Grundwasserabsenkung, um Zuflüsse in Schacht Asse 4 über eine undichte Stelle in der Verkleidung des Schachts zu verhindern. Die Pumpe wird automatisch mittels zweier Schwimmer bei einer Höhenlage des Grundwasserspiegels von etwa 13,5 m unter dem Messpunkt eingeschaltet und bei Erreichen eines Wasserspiegelniveaus von etwa 17,5 m unter dem Messpunkt wieder abgeschaltet. Die Förderphasen sind – in Abhängigkeit von der Jahreszeit – etwa 7 Stunden lang und die Zeitdauer der Wiederanstiegsphasen beträgt etwa 15 Stunden, so dass sich in etwa ein etwa 22-stündiger Rhythmus ergibt. Insgesamt liegt die geförderte Wassermenge nach [Colenco 2006] bei ca. 45 m³ pro Tag (ca. 0,5 l/s) und der Grundwasserspiegel im Schachtbrunnen M1 wird durch den Pumpbetrieb um ca. 9 m bis 10 m abgesenkt. Das gewonnene Grundwasser wird in einen gemauerten Reservoirbehälter und daraus mittels eines Überlaufs in die Ammerbeek geleitet.

Entsprechend des durch zwei Niveaus begrenzten Förderregimes spiegelt die in Abb. 4.13 und Abb. 4.14 gezeigte Ganglinie keine natürlichen Grundwasserspiegelschwankungen wieder, sondern zeigt i.W. den pumpbedingt alternierenden Wasserspiegelanstieg und -abfall. Reaktionen auf einzelne Niederschlagsereignisse oder auf Änderungen des Luftdrucks sind visuell nicht zu beobachten (Abb. 4.14). Nur am 29.10.2011 wurde ein sprunghafter Wasserspiegelanstieg auf etwa 189,5 mNN beobachtet, der sehr nahe am nach [Colenco 2006] angenommenen Ruhewasserspiegel des Schachtbrunnens von 190 mNN liegt. Es ist wahrscheinlich, dass dieser Anstieg auf eine veränderte Steuerung oder den Ausfall der Pumpen zurückgeführt werden kann.

¹ Gemäß dem lithologischen Profil in [GSF 2004] liegt die Messpunkthöhe des Schachtbrunnens M1 auf 192,53 mNN. Dies entspricht der Höhenlage der Schachthalle Asse 2. Andererseits ist in [GSF 1994] eine Messpunkthöhe von 187,82 mNN verzeichnet (=Oberkante von M1 im Bohrkeller).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 82 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

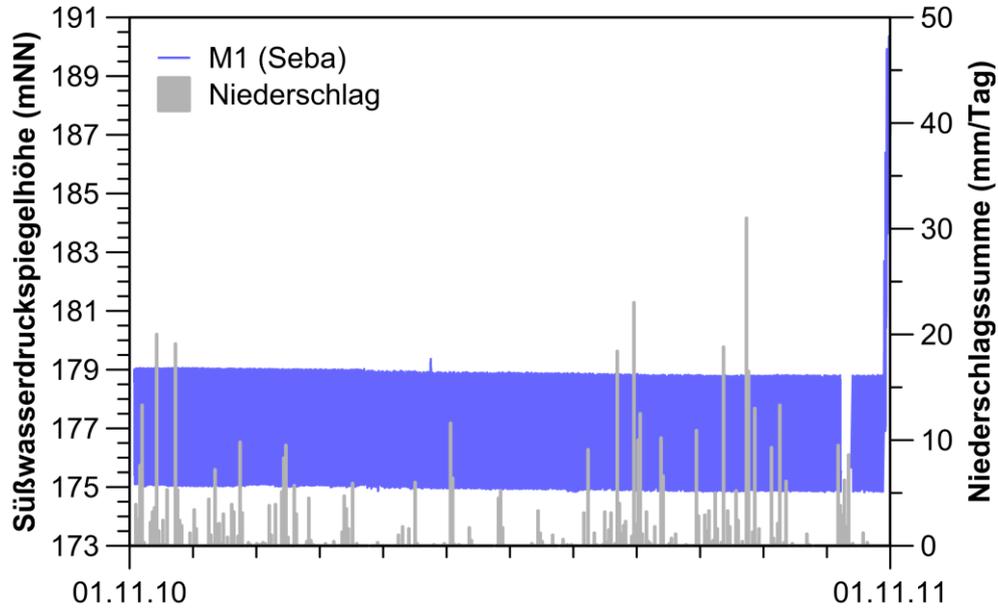


Abb. 4.13: Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in Schachtbrunnen M1 mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2010).

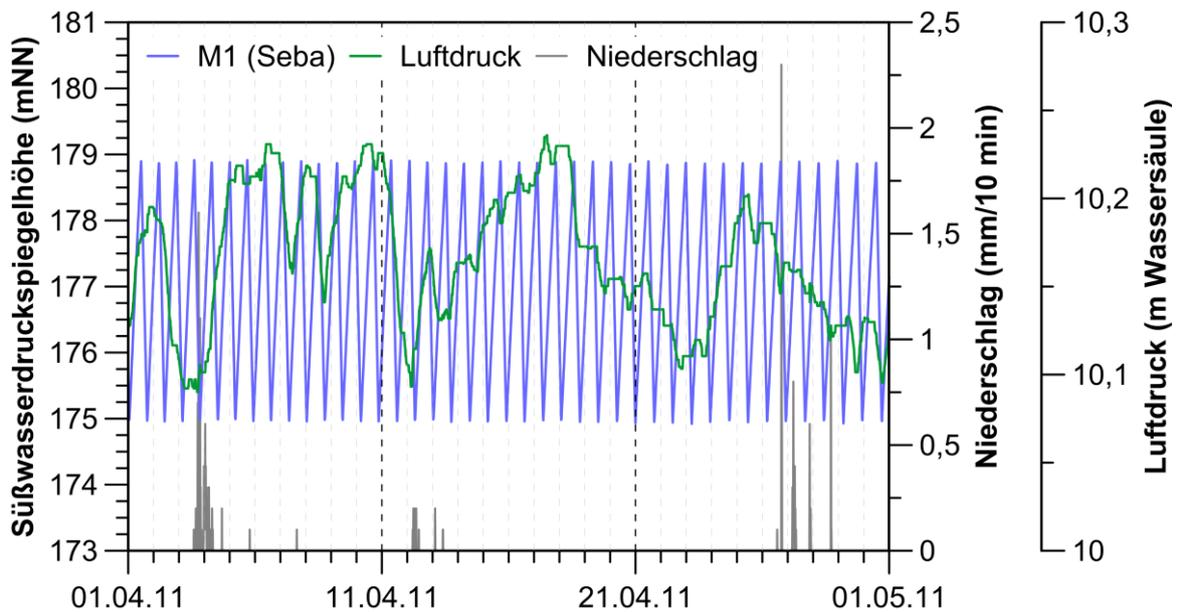


Abb. 4.14: Vergleich der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe im Monat April 2011 in Schachtbrunnen M1 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 83 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

GWM H24b (so, SW-Flanke)

Die GWM H24b liegt etwa auf halber Strecke zwischen Schacht Asse 1 und 2 im Scheitel der Asse-Struktur im verstückelten Deckgebirge zwischen zwei Dolinen. Die durch kurze Standrohr-Abschnitte vierfach geteilte Filterstrecke der GWM H24b, die von 10 m unter Messpunkthöhe bis zur maximalen Ausbautiefe von 204 m reicht, erfasst die verkarsteten tonig-siltigen, gips- und anhydritreichen Abfolgen des Oberen Buntsandstein (so1-so2). Dabei wurden insbesondere im oberen Bohrungsabschnitt bis ca. 60 m Tiefe, begleitet von Kernverlust beim Bohren, mehrere Karsthohlräume durchörtert. Weiterhin wurden Störungszonen bei 147 m und zwischen 150 m bis 152 m Tiefe angetroffen. Die beiden Druckaufnehmer sind in einer Tiefe von 52 m (Seba) bzw. 80 m (Diver) eingebaut.

Messpunkthöhe	205,48 mNN
Länge Filterstrecke inkl. Unterbrechungen	193,2 m
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	107,45 m
Bandbreite der k_f -Werte (Tab. 3.3)	$2,3 \cdot 10^{-10} - 2,3 \cdot 10^{-8}$ m/s
Dichtekorrekturterm Seba / Diver (Tab. 4.1)	7,48 m / 6,7 m

Die Süßwasserdruckspiegelhöhe zeigt Schwankungen von bis zu 30 m zwischen 169 mNN bis 202 mNN für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 (Abb. 4.15). Damit weist diese Messstelle eine beträchtliche freie Filterstrecke auf. Charakteristisch für diese Messstelle ist ein sehr unruhiger Jahresverlauf mit häufigen extremen und kurzfristigen Anstiegen nach Niederschlagsereignissen (Extrembeispiel: 17.07.2002: Heftiger Starkregen mit >50 mm in 6 h und einer Erhöhung um >30 m) sowie nach Schneeschmelzereignissen. Diese kurzfristigen Erhöhungen des Süßwasserdruckspiegels gehen nach Niederschlagsereignissen innerhalb weniger Tage wieder zurück, während nach der Schneeschmelze ein längerfristiger Abfall des Wasserspiegels zu beobachten ist.

Die kurzfristigen Aufspiegelungsereignisse in GWM H24b sind aufgeprägt auf saisonalen Schwankungen mit Maxima von Januar bis etwa März-April, gefolgt von einem stetigen Abfall zu einem Winterminimum (Abb. 4.15, Abb. 4.16). Diese charakteristischen Aufspiegelungsereignisse und die saisonalen Schwankungen sind auch in den Jahren vor 2002 bis zurück zum Beginn der Messungen im Jahr 1973 zu beobachten (Abb. B.4 im Anhang). Die Amplitude der saisonalen Schwankungen zeichnet dabei jeweils sehr gut die Abfolge der überdurchschnittlich niederschlagsarmen bzw. -reichen Jahre nach, wobei in dieser Messstelle die Niederschlagsmaxima der Jahre 2002 und 2007/08 um etwa 8 bis 10 Monate verschoben auftreten. Es lässt sich eine ausgeprägte Korrelation der Süßwasserdruckspiegelhöhe mit Luftdruckschwankungen beobachten (Abb. 4.17), während eine Korrelation mit Änderungen der Gezeitenkräfte nicht ersichtlich ist.

Der Verlauf der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe stimmt für beide Druckaufnehmer-systeme gut überein, wobei der Druckspiegel des Diver-Druckaufnehmers ca. 20 bis 25 cm über dem des Seba-Systems liegt (Abb. 4.16).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 84 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die Grundwassertemperatur liegt zwischen 11,4 °C und 11,7 °C und weist jeweils einen deutlichen Abfall nach Niederschlagsereignissen (auch im Sommer/Herbst) auf (Abb. 4.16). Für den markanten Sprung der Temperatur am 15.03.2011 um 0,3 °C nach oben gibt es keine plausible Erklärung.

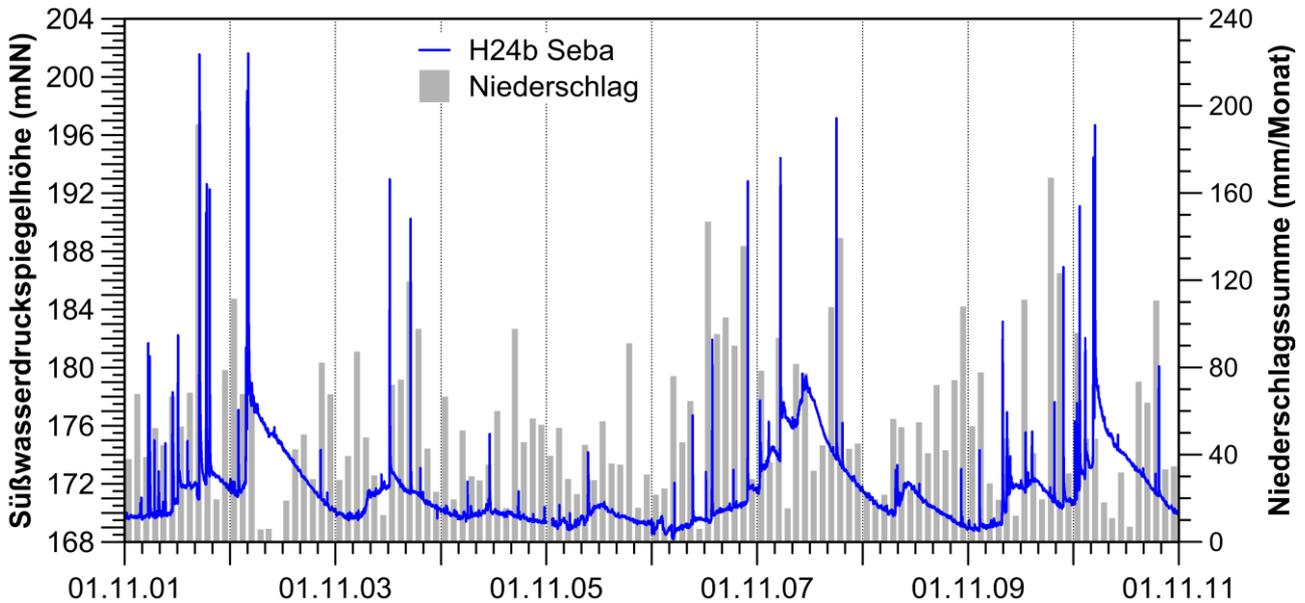


Abb. 4.15: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H24b mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).

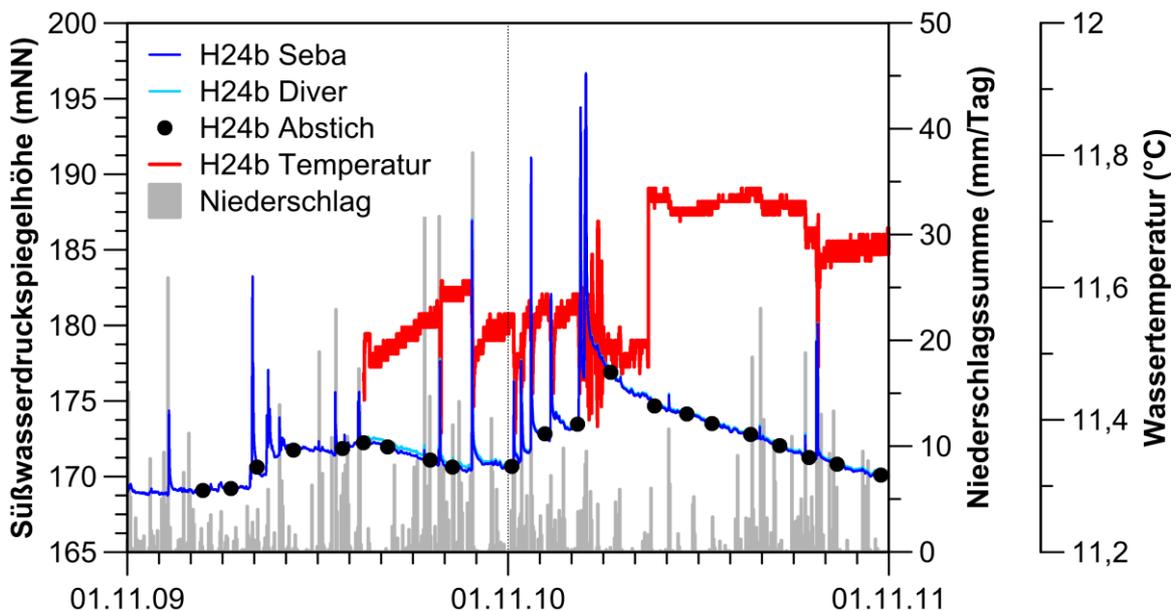


Abb. 4.16: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H24b mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 85 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

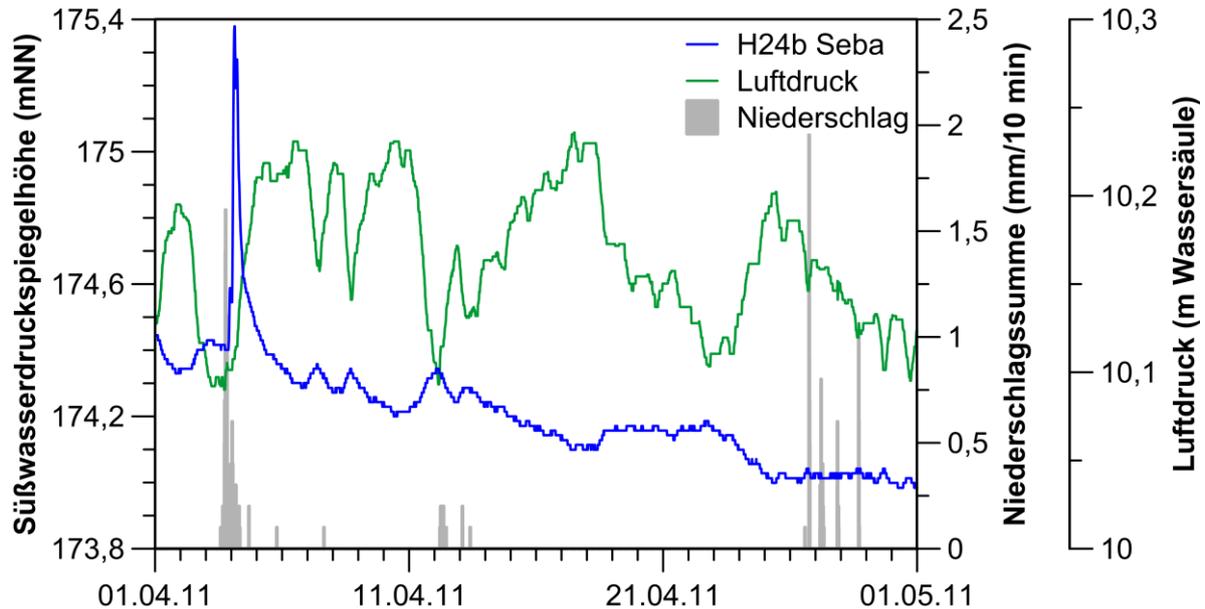


Abb. 4.17: Vergleich der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe im Monat April 2011 in der GWM H24b mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.

4.2.2 Muschelkalk

GWM H1 (*mu*, NE-Flanke)

Die GWM H1 befindet sich auf der Nordost-Flanke des Asse-Höhenzuges nahe der Straße von Remlingen nach Groß Vahlberg und nach [GSF 1994] im Bereich der Groß Vahlberger Störung. Bei einer Gesamttiefe von 70 m weist die Messstelle H1 eine dreifach geteilte Filterstrecke auf, die gebankte Kalksteine des Unteren Muschelkalk (*mu*) erschließt. Der Druckaufnehmer (nur Seba verbaut) ist in ca. 10 m unter Messpunkthöhe positioniert.

Messpunkthöhe	152,40 mNN
Länge Filterstrecke inkl. Unterbrechungen	58 m
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	36,5 m
Bandbreite der k_f -Werte (Tab. 3.3)	$1,6 \cdot 10^{-7} - 1,1 \cdot 10^{-4}$ m/s
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	0,13 m

Die Schwankungsbreite der Süßwasserdruckspiegelhöhe der GWM H1 liegt für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 im Bereich von ca. 148,2 mNN und 151 mNN, somit liegt die Süßwasserdruckspiegelhöhe sehr oberflächennah. Zumeist weist die Ganglinie, bei einem sehr unruhigen Verlauf, deutliche mehrjährige sowie saisonale Schwankungen auf (Abb. 4.18), die auch in den Jahren vor 2002 bis zurück zum Beginn der Messungen im Jahr 1979 zu beobachten sind (Abb. B.5 im Anhang). Die Abfolge von überdurchschnittlich niederschlagsreichen Jahren (2002 und



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 86 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

2007/08) und niederschlagsarmen Jahren (2003 und 2005/06) wird durch Maxima und Minima der Amplituden der Ganglinie gut nachgezeichnet. Innerhalb eines hydrologischen Jahres zeigt sich insbesondere eine ausgeprägte, mehrmonatige Hochlage der Süßwasserdruckspiegelhöhe in den Monaten Januar und Februar, deren Beginn oftmals mit dem Einsetzen der Schneeschmelze korreliert (Abb. 4.19). Weitere kurzfristige Schwankungen mit sehr steilem Anstieg und graduellem Abfall der Süßwasserdruckspiegelhöhe als Reaktion auf Niederschlagsereignisse gibt es häufig in den Sommermonaten. Die Reaktion der Druckspiegelhöhe auf Niederschlagsereignisse erfolgt dabei zumeist mit einer geringen Verzögerung innerhalb von wenigen Stunden.

Aus der hochauflösenden Darstellung der Ganglinie des Luftdrucks und der Gezeitenkräfte gegen die Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe (nicht gezeigt) ist für die Ganglinie der GWM H1 keine Korrelation mit diesen potentiellen Einflussfaktoren ersichtlich.

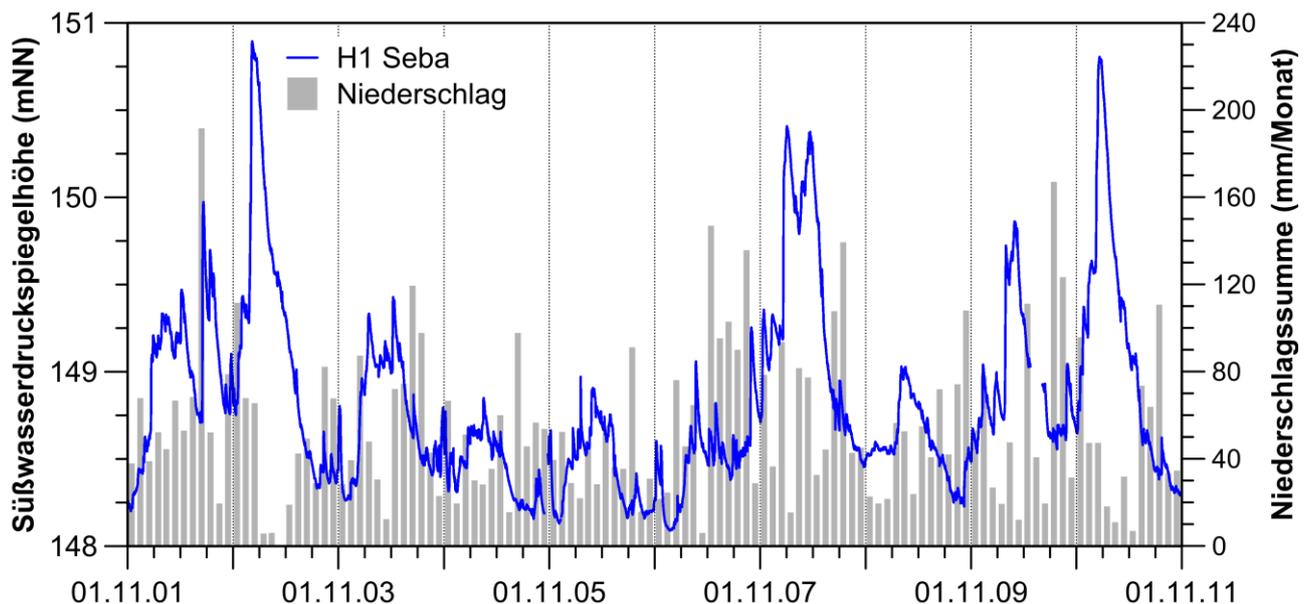


Abb. 4.18: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H1 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 87 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

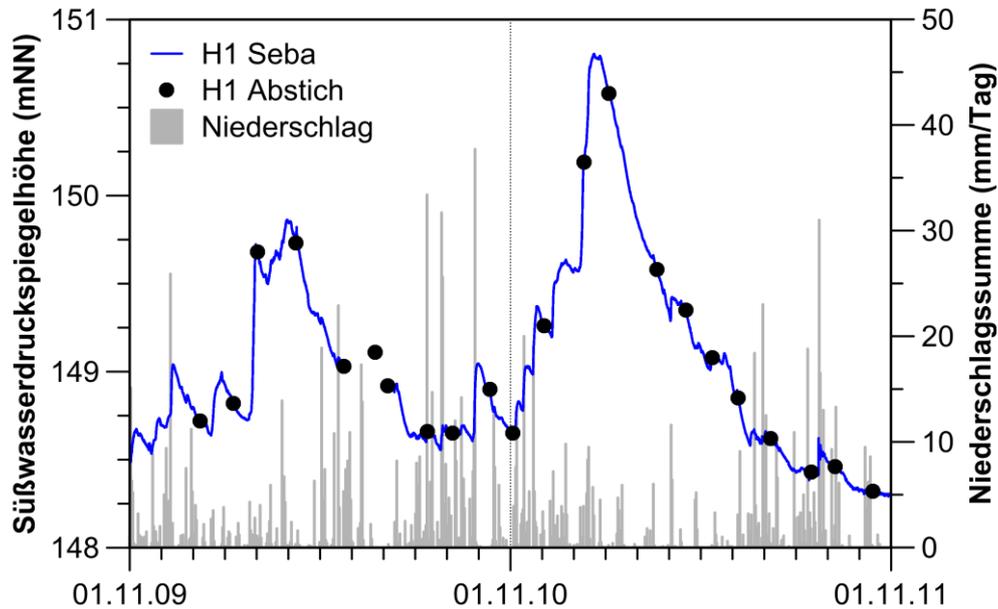


Abb. 4.19: Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H1 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).

GWM H14 (q und mu , SW-Flanke)

Die GWM H14 ist auf der Südwest-Flanke, etwa 350 m südwestlich von Schacht Asse 1. Ihr Ausbau reicht bis 68 m unter Gelände, wobei die zweifach unterteilte Filterstrecke bis ca. 13 m Tiefe quartäre Schichten und bis 51 m Kalk- und Mergelsteinsteine des Unteren Muschelkalk (mu) erschließt. Der Seba-Druckaufnehmer ist etwa in einer Tiefe von 10 m im Bereich des oberen Filterrohres und der Diver-Druckaufnehmer in ca. 20 m Tiefe am Top des unteren Filterrohres positioniert.

Messpunkthöhe	148,60 mNN
Länge Filterstrecke inkl. Unterbrechungen	38 m
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	27,8 m
Bandbreite der k_f -Werte (Tab. 3.3)	q : $2,1 \cdot 10^{-6} - 2,1 \cdot 10^{-4}$ m/s mu : $3 \cdot 10^{-7} - 9,6 \cdot 10^{-6}$ m/s
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	0,25 m

Die Süßwasserdruckspiegelhöhe zeigt für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 Schwankungen zwischen 141 mNN und 147 mNN (Abb. 4.20). Dabei ist der Verlauf relativ unruhig und weist deutliche mehrjährige und saisonale Veränderungen auf. Während Perioden mit sehr niedriger Süßwasserdruckspiegelhöhe kann diese Messstelle eine freie Filterstrecke aufweisen. Die Abfolge der niederschlagsreichen Jahre 2002 und 2007/08 und der niederschlagsarmen Jahre 2003 und 2005/06 wird durch Maxima und Minima der Amplituden der Ganglinie gut nachgezeichnet. Innerhalb eines hydrologischen Jahres zeigt die Ganglinie einen deutlich sägezahnartigen saisonalen



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 88 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Gang mit steilem Anstieg zur Schneeschmelze in den Monaten Januar und Februar gefolgt von einem langsamen, graduellen Abfall hin zu einem Minimum im Oktober bis Dezember (Abb. 4.20). Dieser typische Verlauf ist auch in den Jahren vor 2002 bis zurück zum Beginn der Messungen im Jahr 1972 zu beobachten (Abb. B.6 im Anhang). Eine Reaktion auf einzelne Niederschlagsereignisse ist vorhanden, aber stark abhängig von Niederschlagshöhe und Jahreszeit (Abb. 4.21). Eine Korrelation mit dem raschen Wasserspiegelabfallereignis im Januar 2011 im westlich gelegenen Schacht Asse 1 ist nicht zu beobachten (Abb. 4.22); dies gilt auch für das Ereignis in Schacht Asse 1 im Februar 2002 (nicht dargestellt). Weiterhin zeigt sich keine Korrelation mit Veränderungen des Luftdrucks, möglicherweise korrelieren aber hochfrequente Druckhöhenänderungen mit Änderungen der Gezeitenbeschleunigung (Abb. 4.23).

Die Süßwasserdruckspiegelhöhe des Seba-Druckaufnehmers weist kurzfristige Sprünge des Messwertes um bis zu 1,2 m auf (z.B. in der zweiten Jahreshälfte 2011; Abb. 4.21). Diese Sprünge sind wahrscheinlich nicht auf Niederschlagsereignisse zurück zu führen, sondern resultieren aus einer Positionsverschiebung des Druckaufnehmers innerhalb der Verrohrung. Weiterhin zeigt das Diver-System von ca. Februar bis September 2011 einen starken Abfall um mehr als 10 m gefolgt von einem schnellen Anstieg, der allerdings nicht durch die Abstiche und Messungen des Seba-Druckaufnehmers wiedergegeben wird und für den es keine plausible Erklärung gibt.

Die Grundwassertemperaturen liegen im Bereich von ca. 8,8 °C bis 9,4 °C und zeigen ein Maximum in den Wintermonaten des Jahreswechsels 2010/11, gefolgt von einem Minimum im Sommer 2011 (Abb. 4.21). Für diesen sehr ungewöhnlichen Verlauf gibt es ebenfalls keine plausible Erklärung.

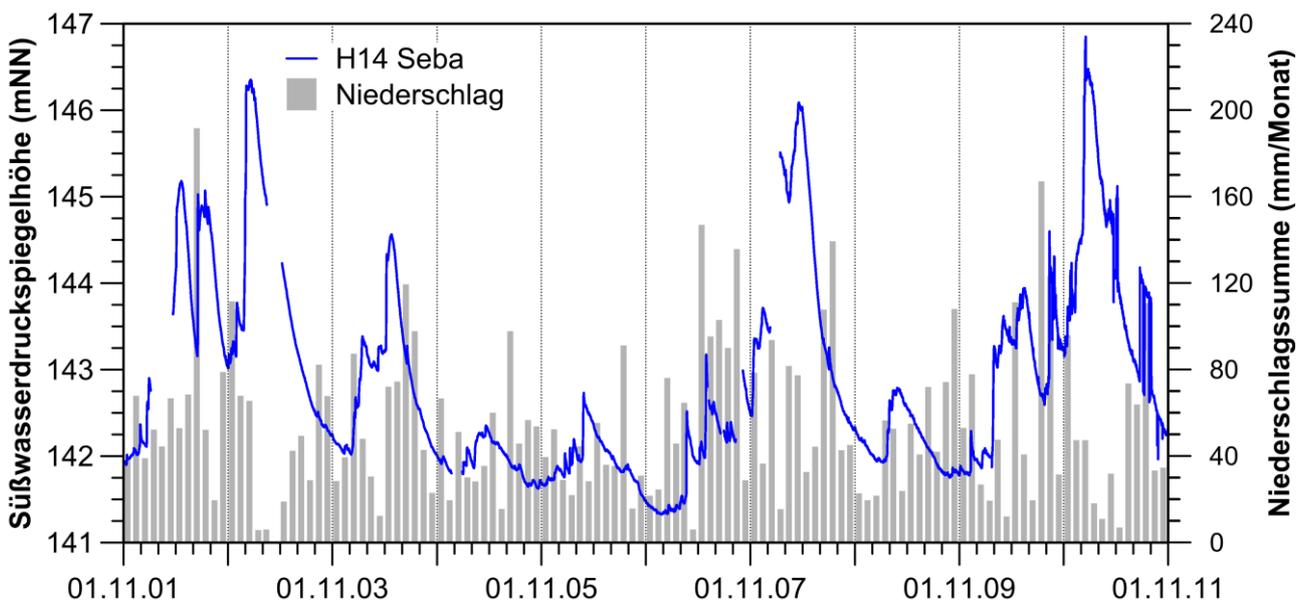


Abb. 4.20: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GW H14 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 89 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

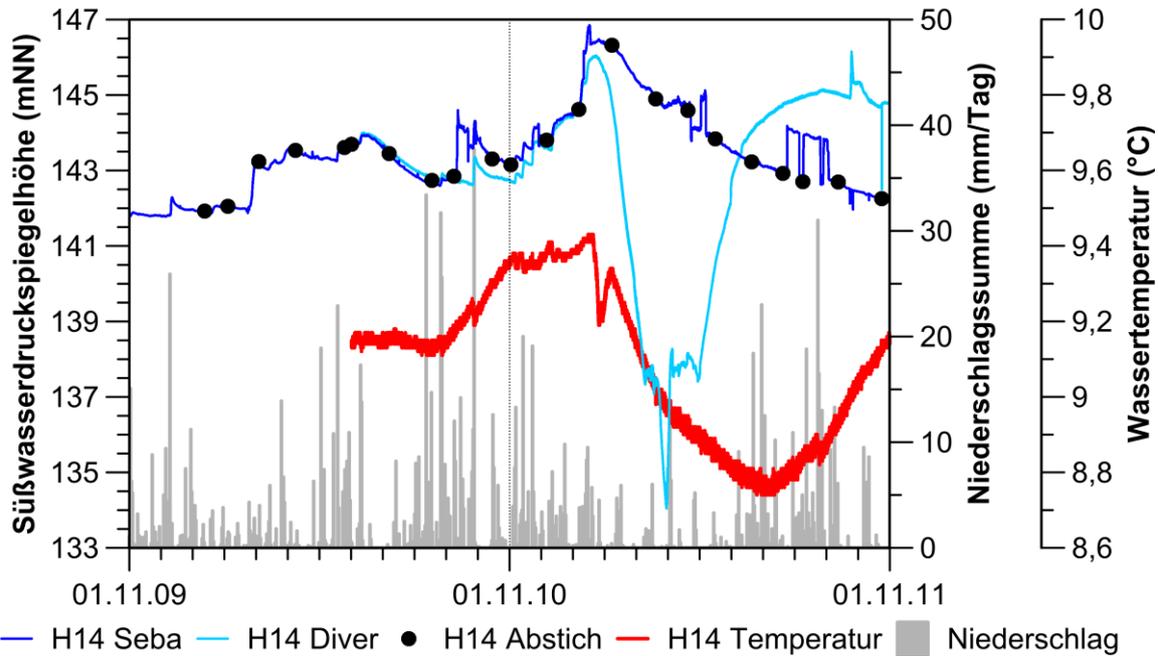


Abb. 4.21: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H14 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010-2011).

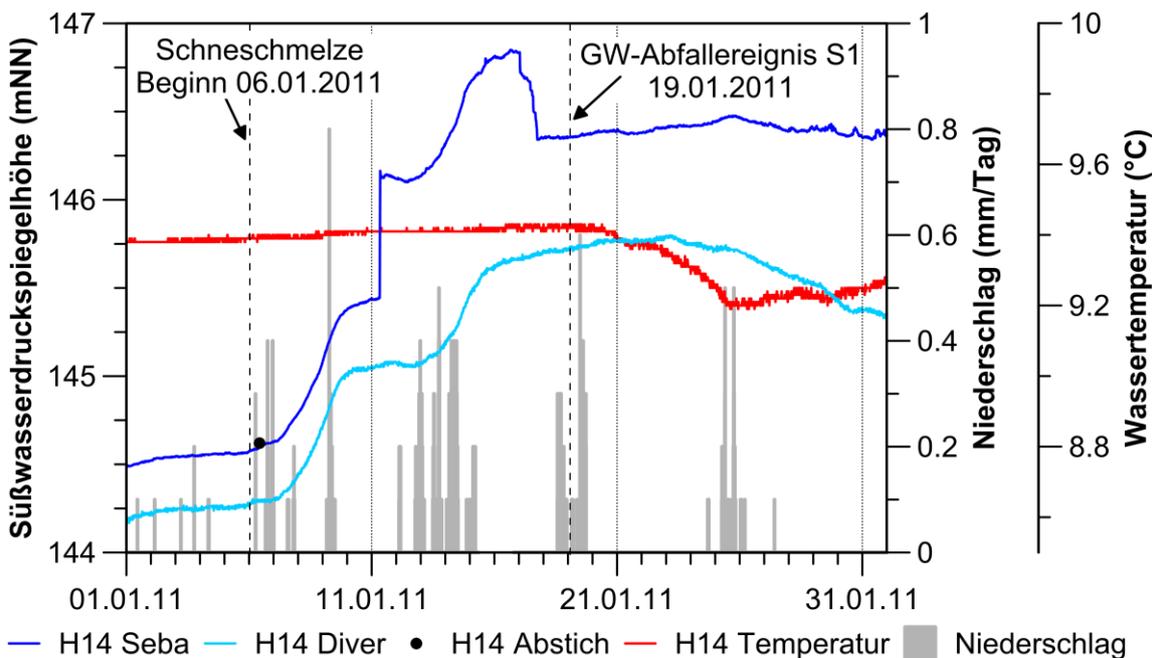


Abb. 4.22: Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H14 im Monat Januar 2011 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 90 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

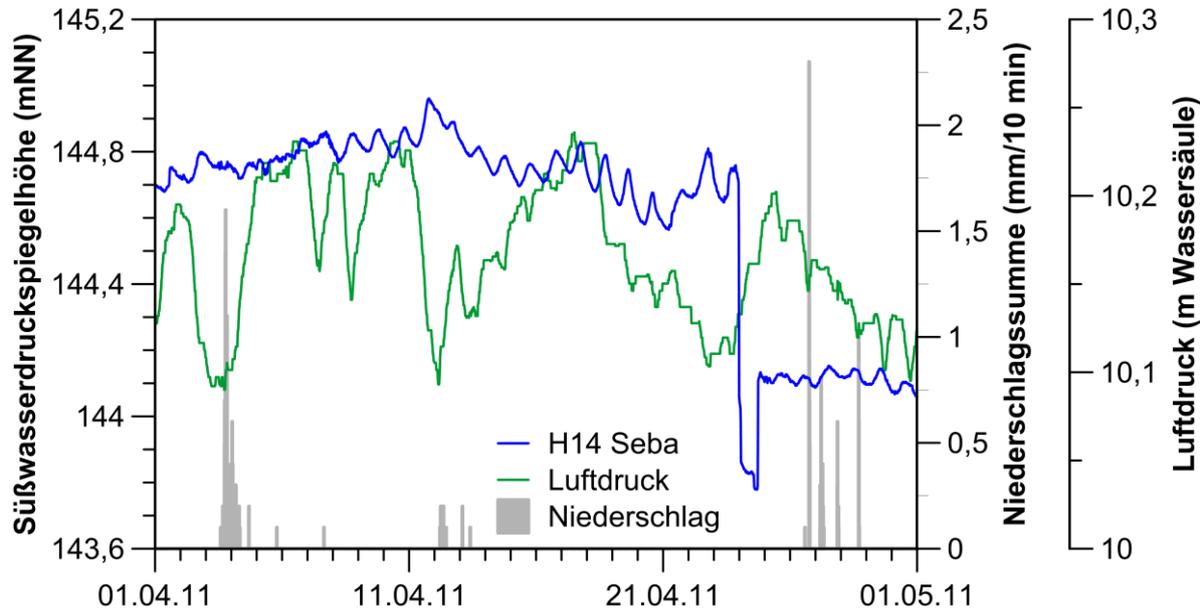


Abb. 4.23: Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H14 im Monat April 2011 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.

GWM H23 (*mu*, SW-Flanke)

Die GWM H23 liegt in der Südwest-Flanke, ca. 200 m südlich der GWM H17. Ihre dreifach geteilte Filterstrecke (1. Abschnitt: 40-84 m; 2.: 92-139 m; 3.: 142,5-160 m unter dem Messpunkt) erschließt gebankte Kalk- und Mergelsteine des Unteren Muschelkalk (*mu*) und zwei, z.T. brekziierte Störungszonen in ca. 102 und 132 m Tiefe. Die beiden Druckaufnehmersysteme sind in einer Tiefe von ca. 67 m (Seba) bzw. 80 m (Diver) im Bereich der oberen Filterstrecke eingebaut.

Messpunkthöhe	225,36 mNN
Länge Filterstrecke inkl. Unterbrechungen	120 m
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	100 m
Bandbreite der k_f -Werte (Tab. 3.3)	$1,1 \cdot 10^{-7} - 1,9 \cdot 10^{-7}$ m/s
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	Süßwasser

Die Ganglinie zeigt bei einem gedämpften Verlauf deutliche mehrjährige und saisonale Schwankungen der Süßwasserdruckspiegelhöhe mit einer Schwankungsbreite von maximal ca. 10 m, d.h. zwischen 155 mNN und 165 mNN für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 (Abb. 4.24). Damit zeigt diese Messstelle eine beträchtliche freie Filterstrecke. Die Abfolge von niederschlagsreichen (2002 und 2007/08) bzw. niederschlagsarmen (2003 und 2005/06) Jahren wird durch Maxima und Minima der Amplituden der Ganglinie gut nachgezeichnet.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 91 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

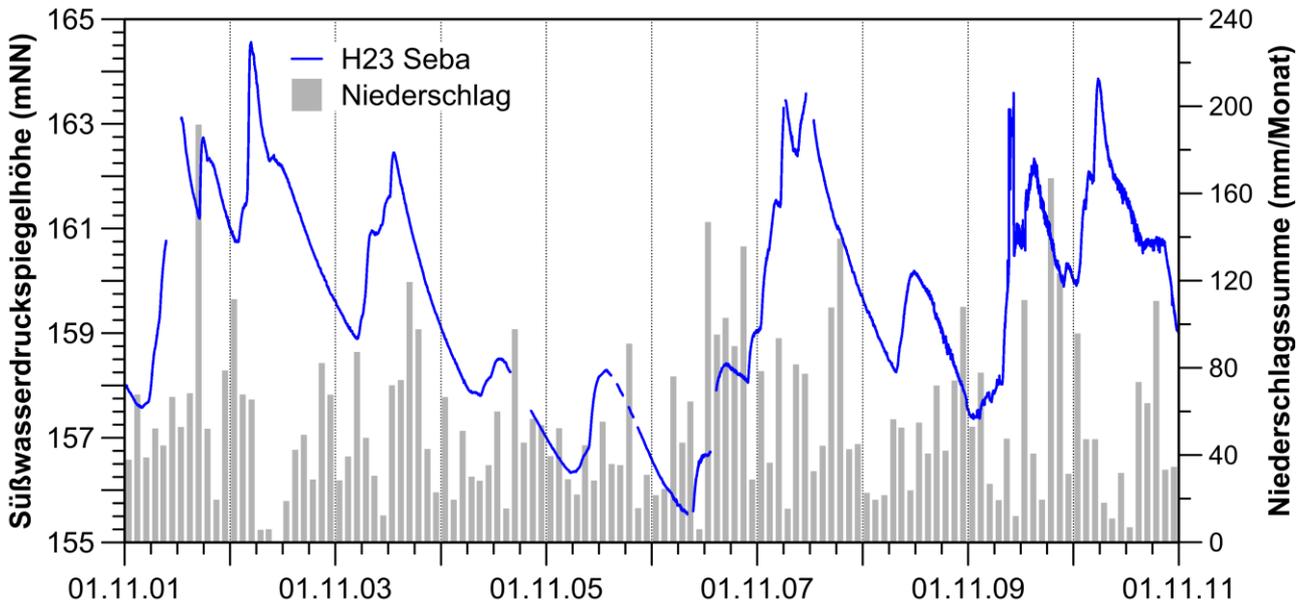


Abb. 4.24: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H23 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).

Innerhalb eines hydrologischen Jahres zeigt die Ganglinie einen gedämpften, sägezahnförmigen Verlauf mit dem unmittelbaren Anstieg nach den Monaten Januar bzw. Februar zu einem deutlichen Spätwinter-Frühjahrsmaximum, gefolgt von einem graduellen Abfall zu einem Minimum im Herbst bzw. ersten Winterhalbjahr (Abb. 4.24). Auf einzelne Niederschlagsereignisse erfolgt praktisch keine Reaktionen der Süßwasserdruckspiegelhöhe (Abb. 4.25). Dieser typische Verlauf ist auch in den Jahren vor 2002 bis zurück zum Beginn der Messungen im Jahr 1972 zu beobachten (Abb. B.7 im Anhang). Eine Korrelation mit Luftdruckveränderungen in der Ganglinie dieser GWM nicht ersichtlich (Abb. 4.26). Auffallend ist jedoch eine ausgeprägte hochfrequente Periodizität (s.u.).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 92 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

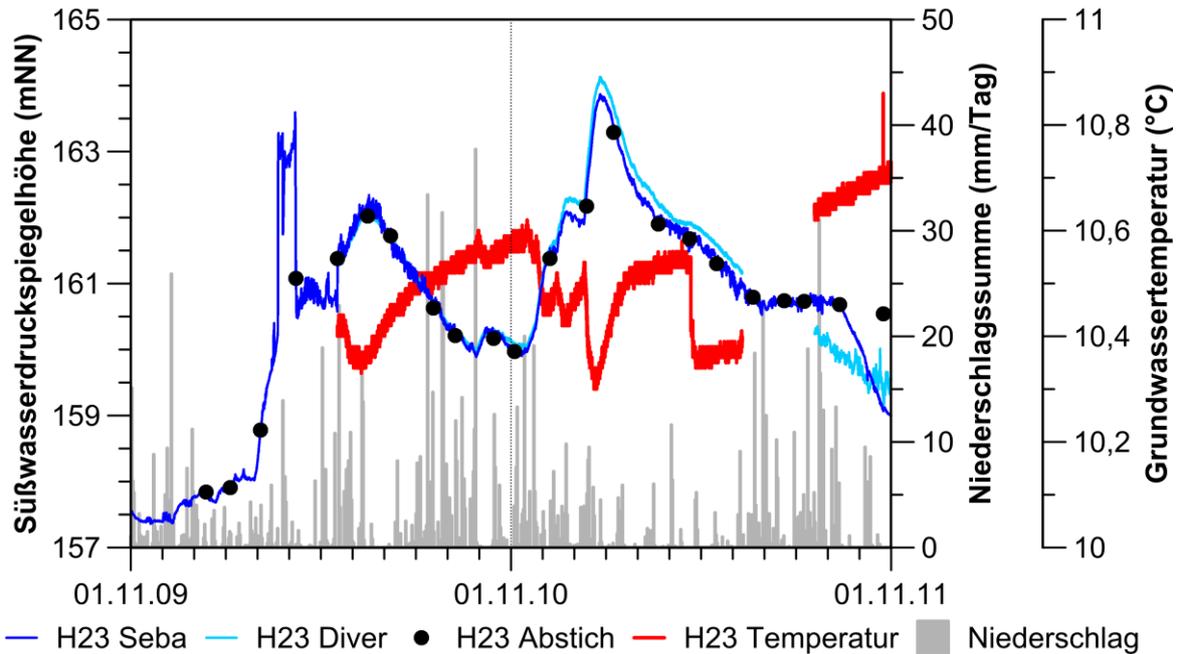


Abb. 4.25: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H23 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).

Hinsichtlich der Druckaufnehmersysteme zeigt das Seba-System Phasen mit relativ ruhigem Verlauf (z.B. November 2010 bis März 2011) und Phasen, während denen höherfrequente Anteile mit Amplituden von 2 bis 4 cm die Ganglinie sehr unruhig erscheinen lassen (z.B. Juni bis September 2011; Abb. 4.25) und die möglicherweise auf einen Defekt deuten. Zudem treten kurzfristige, reversible Verschiebungen der Ganglinie um bis zu 2 m auf (z.B. im März 2010). Diese Verschiebungen sind möglicherweise durch eine Änderung der vertikalen Position des Druckaufnehmers im Bohrloch bedingt. Im Vergleich zum Seba-System, zeigt das Diver-System zumeist einen sehr ähnlichen Verlauf der Ganglinie, wengleich eine Verschiebung nach oben um ca. 10 cm zu beobachten ist und Phasen mit hochfrequenten Anteilen nicht zu beobachten sind. Weiterhin zeigt die hochauflösende Darstellung der Ganglinie des Seba-Druckaufnehmers in Abb. 4.26 für die GWM H23 ein sehr ungewöhnliches Verhalten: Etwa jeweils zur Tagesmitte gibt es einen graduellen Anstieg um 10 cm bis 20 cm, der dann von einem raschen Abfall zu einem nächtlichen Minimum gefolgt wird. Dieses ungewöhnliche Verhalten ist in der Ganglinie des Diver-Druckaufnehmers, der nur wenig tiefer in der Messstelle positioniert ist, nicht zu sehen.

Die Ganglinie der Grundwassertemperatur (Abb. 4.25) zeichnet mit ihrem Verlauf in den Monaten Dezember 2010 bis März 2011 deutlich die Anstiege des Süßwasserdruckspiegels jeweils durch eine Abkühlung um 0,1 °C bis 0,2 °C nach. Ein prominenter Abfall der Grundwassertemperatur um 0,2 °C Anfang April 2011 ist jedoch nicht mit einer Veränderung des Druckspiegels korreliert (Abb. 4.25).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 93 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

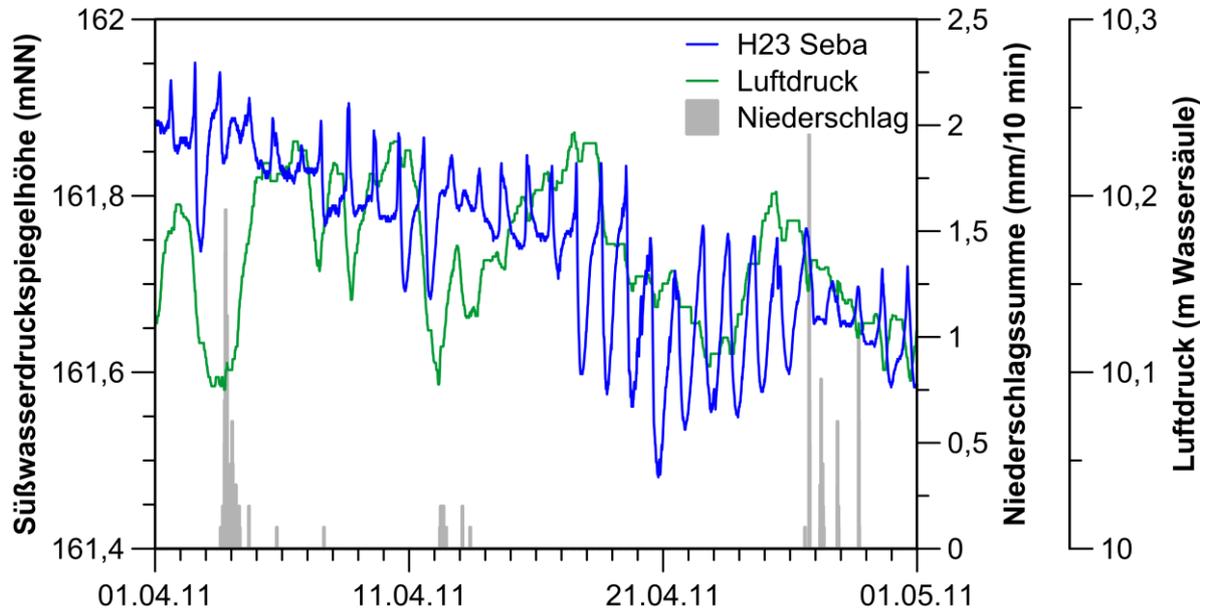


Abb. 4.26: Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe im Monat April 2011 in der GWM H23 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.

GWM P16 (*mu*, SW-Flanke)

Die GWM P16 liegt etwa 330 m südöstlich des Schachtes Asse 2. Sie wurde mit einer durchgehenden Filterstrecke von 23 m Tiefe bis zur maximalen Ausbautiefe von 80 m unter GOK in den Kalk- und Mergelsteinen des Unteren Muschelkalk (*mu*) verfiltert. Die beiden Druckaufnehmer sind in einer Tiefe von ca. 38 m (Seba) bzw. 52 m (Diver) eingebaut.

Messpunkthöhe	201,73 mNN
Länge Filterstrecke	57 m
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	51,5 m
k_f -Wert (Tab. 3.3)	$9,8 \cdot 10^{-8}$ m/s
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	Süßwasser

Die Ganglinie der GWM P16 zeigt deutliche mehrjährige und saisonale Schwankungen der Süßwasserdruckspiegelhöhe mit einer maximalen Schwankungsbreite von bis zu 16 m (zwischen 162 mNN bis 178 mNN) für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 (Abb. 4.27). Die Abfolge der niederschlagsreichen Jahre 2002 und 2007/08 und der niederschlagsarmen Jahre 2003 und 2005/06 wird durch Maxima und Minima der Amplituden der Ganglinie gut nachgezeichnet. Innerhalb eines hydrologischen Jahres zeigt sich jeweils ein gedämpfter Verlauf mit einem spätwinterlichen Maximum des Druckspiegels, gefolgt von einem graduellen Abfall zu einem herbstfrühwinterlichen Minimum (Abb. 4.27). Die Ganglinie weist keinen ersichtlichen Einfluss von individuellen Niederschlagsereignissen auf (Abb. 4.28). Dieser typische Verlauf ist auch in den Jahren vor 2002 bis zurück zum Beginn der Messungen im Jahr 1985 zu beobachten (Abb. B.8 im An-



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 94 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

hang). Die hochauflösende Darstellung der Ganglinie in Abb. 4.29 zeigt eine zeitweise gute Korrelation der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe mit Luftdruckveränderungen und möglicherweise mit Änderungen der Gezeitenbeschleunigung.

Die Ganglinien der beiden Druckaufnehmersysteme zeigen für die GWM P16 einen sehr ähnlichen Verlauf (Abb. 4.28), wobei die Druckspiegelwerte des Diver-Systems jeweils ca. 5 cm bis 10 cm über denen des Seba-Systems liegen.

Die Temperaturmessungen, die erst seit März 2011 vorliegen, zeigen relativ konstante Werte von ca. 9,9 °C (Abb. 4.28). Eine Aussage zum Vorhandensein eines Jahresgangs lässt sich damit noch nicht treffen.

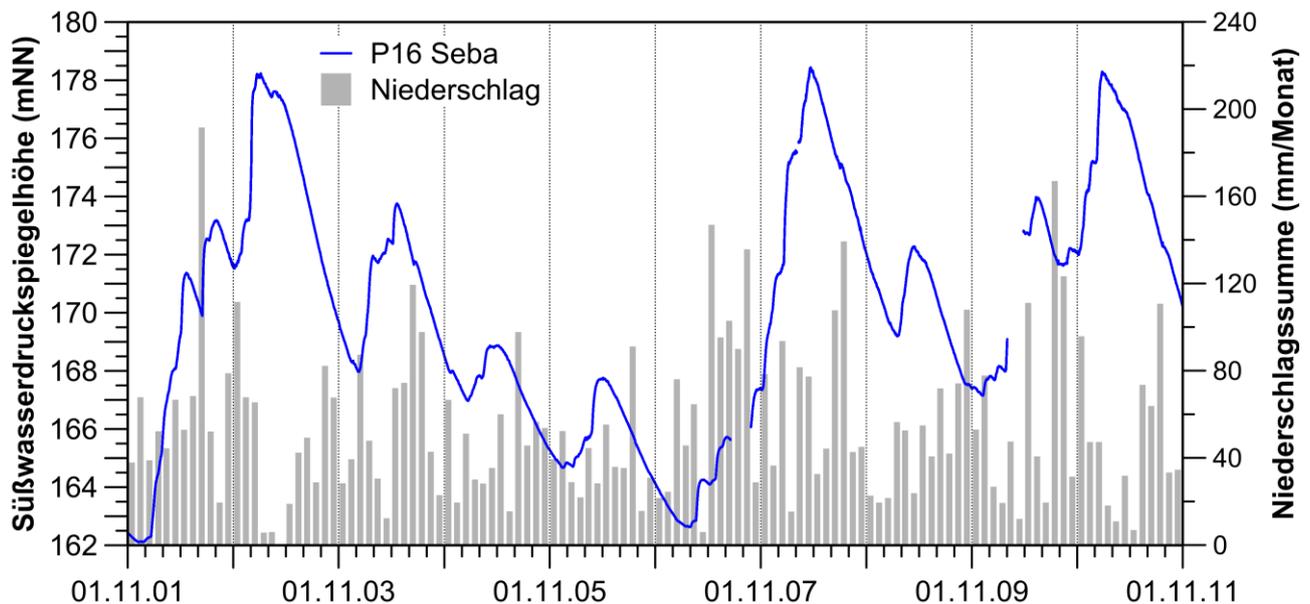


Abb. 4.27: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM P16 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 95 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

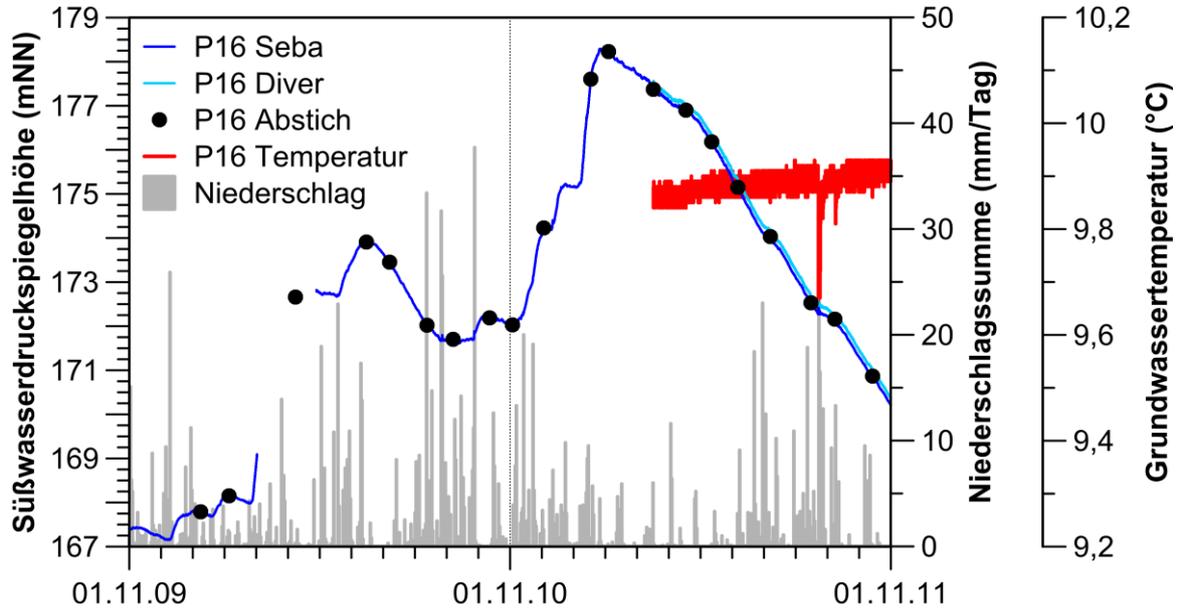


Abb. 4.28: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P16 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).

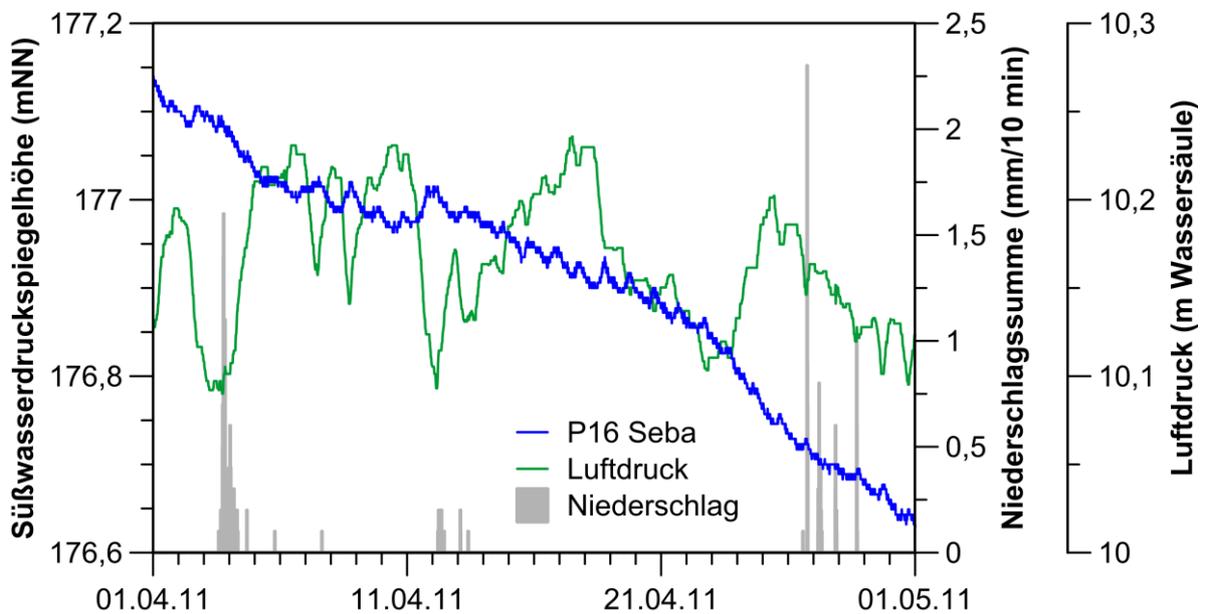


Abb. 4.29: Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe im Monat April 2011 in der GWM P16 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 96 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

GWM PN1 (FP: *mu3*, TP: *mu1*; SW-Flanke)

Die GWM PN1 wurde im Jahr 2008 auf der Südwest-Flanke, ca. 2,2 km südöstlich von Schacht Asse 2 in Richtung von Schacht Asse 3 errichtet. Sie ist als Messstellenbündel konzipiert und erschließt Kalksteine des Unteren Muschelkalk (*mu3*) in einem Flachpegel (PN1-FP) und Schichten des basalen Unteren Muschelkalk (*mu1*), wenige Meter über dem Übergang Unterer Muschelkalk/Oberer Buntsandstein (*mu/so*), in einem Tiefpegel (PN1-TP). Das Überrohr des Tiefpegels liegt um 10 cm tiefer als das Überrohr des Flachpegels um Verwechslungen bei der Messung des Grundwasserspiegels und bei der Probennahme zu vermeiden. Beide Filterstrecken sind hydraulisch durch eine ca. 130 m mächtige Tonsperre voneinander getrennt.

Messpunkthöhe	176,95 mNN
Länge Filterstrecke	5 m (FP), 10 m (TP)
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	40,5 m (FP), 185 m (TP)
Bandbreite der k_f -Werte	keine Daten
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	0,04 m (FP), 0,14 m (TP)

Die Ganglinien der seit Ende April 2010 verbauten Diver-Druckaufnehmer im Flach- und Tiefpegel zeigen deutliche saisonale Variationen der Süßwasserdruckspiegelhöhe innerhalb des Beobachtungszeitraumes; zudem sind im Tiefpegel kurzzeitige Aufspiegelungen zu beobachten (Abb. 4.30). Die Ganglinie weist jeweils eine leicht abfallende Süßwasserdruckspiegelhöhe bis zum Spätherbst 2010 auf, gefolgt von einem progressiven Anstieg im Winter, der dann mit Beginn des Frühjahrs 2011 wieder in einen graduellen Abfall übergeht. Dabei zeigt die Süßwasserdruckspiegelhöhe im Flachpegel einen Schwankungsbereich von ca. 1 m, d.h. Werte zwischen 156,2 mNN bis 157,2 mNN. Für den Tiefpegel liegt der Schwankungsbereich bei ca. 3,5 m (mit Aufspiegelungen max. 7,3 m) und weist mit Werten zwischen 150,7 mNN und 154,2 mNN (Aufspiegelungen: bis max. 158 mNN) eine deutliche niedrigere Süßwasserdruckspiegelhöhe als der Flachpegel auf. Weiterhin zeigt der Tiefpegel häufig nach Niederschlagsereignissen eine starke kurzzeitige Erhöhung des Druckspiegels um mehrere Meter, die im Flachpegel nicht beobachtet werden kann und möglicherweise auf die Zusickerung von Oberflächenwasser zurück zu führen ist. Hervorzuheben ist dabei die um mehr als 2,5 m höhere Amplitude der Ganglinie im Tiefpegel (Abb. 4.30) sowie die zeitliche Variabilität der Differenz der Süßwasserdruckspiegelhöhe zwischen dem Flach- und dem Tiefpegel (Abb. 4.31). Wenn man die kurzzeitigen Aufspiegelungen im Flachpegel unberücksichtigt lässt, ergibt sich eine minimale Differenz von etwa 3 m in den Monaten Januar und Februar sowie eine maximale Differenz von etwa 5,5 m im Oktober 2011 (Abb. 4.31). Daraus lässt sich – unter Annahme einer hydraulischen Verbindung innerhalb des Kluftgrundwasserleiters – mittels des Höhenunterschiedes von 144,5 m zwischen den Filterstrecken ein abwärts gerichteter Gradient von ca. 0,04 m/m für den Januar-Februar und ca. 0,02 m/m für den Oktober 2011 ableiten.

Die hochauflösende Darstellung der Ganglinie zeigt eine gute Korrelation der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe mit Luftdruckveränderungen sowohl für den Flach- als auch für den Tiefpegel (Abb. 4.32). Zudem sind noch höherfrequente Schwankungen von mehreren Zentimetern Amplitude vorhanden, die möglicherweise mit Änderungen der Gezeitenkräfte korrelieren.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 97 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die Messwerte des Diver-System stimmen für den Tiefpegel sehr gut mit den Abstichhöhen überein, während sie für den Flachpegel der GWM PN1 jeweils 15 cm bis 20 cm über den Abstichhöhen liegen (Abb. 4.30).

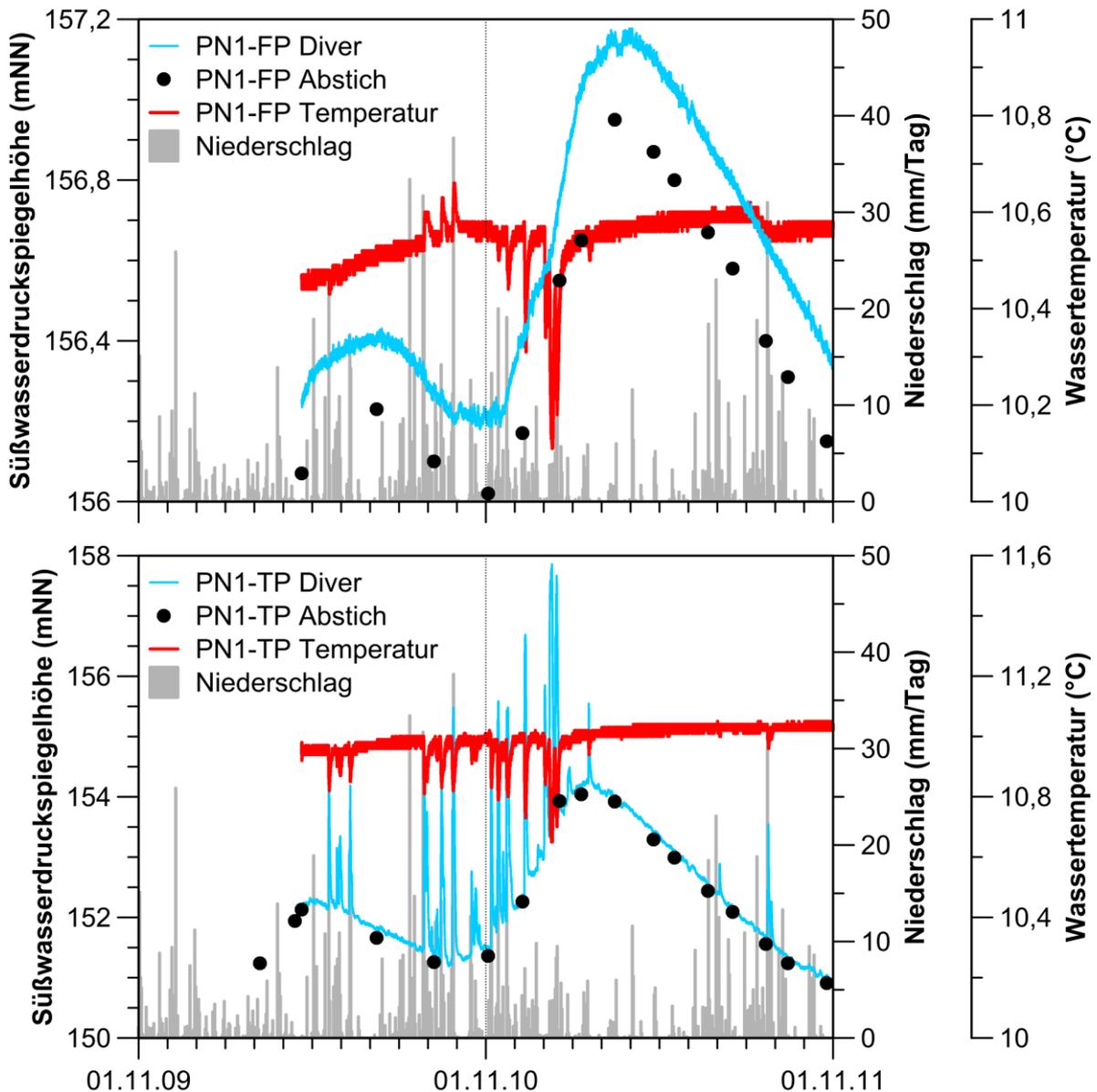


Abb. 4.30: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM PN1-FP (oben) und PN1-TP (unten) mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 98 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die Ganglinie der Grundwassertemperatur im Flachpegel der GWM PN1 zeigt eine kurzfristige Erwärmung nach größeren Niederschlagsereignissen im Spätherbst 2010 und eine kurzzeitige Abkühlung nach Niederschlagsereignissen im Winter 2011 an, die jedoch nicht mit Veränderungen der Druckspiegelhöhe korrelieren (Abb. 4.30 oben). Im Gegensatz dazu zeigt die Temperaturganglinie des Tiefpegels zumeist eine Abkühlung nach Niederschlagsereignissen an, die jeweils auch mit den oben beschriebenen kurzzeitigen Aufspiegelungen korreliert (Abb. 4.30 unten).

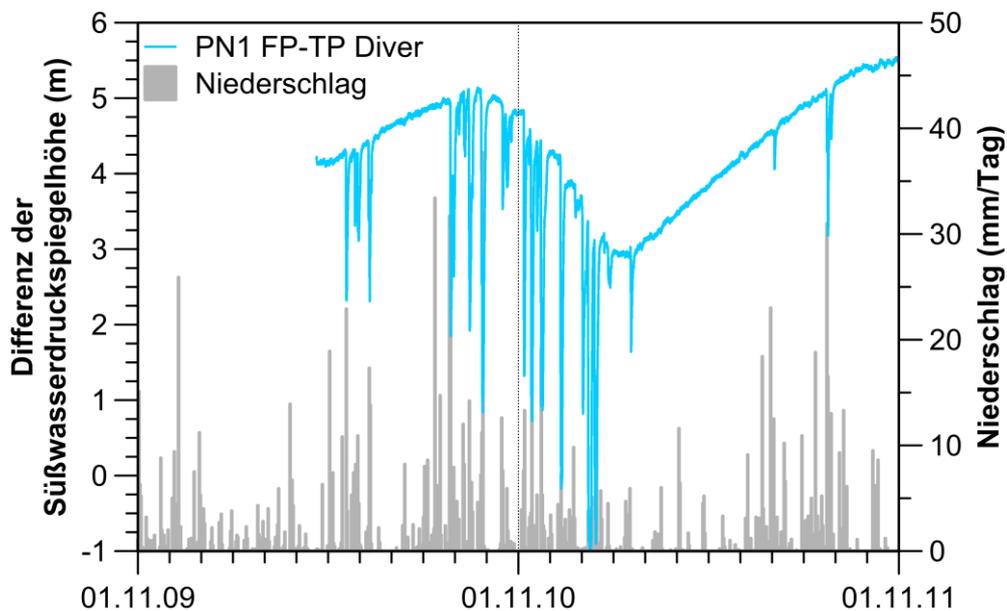


Abb. 4.31: Differenz der Süßwasserdruckspiegelhöhe des Flach- und des Tiefpegels in der GWM PN1 (hydrologische Jahre 2010 und 2011) zusammen mit den Niederschlagssummen.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 99 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

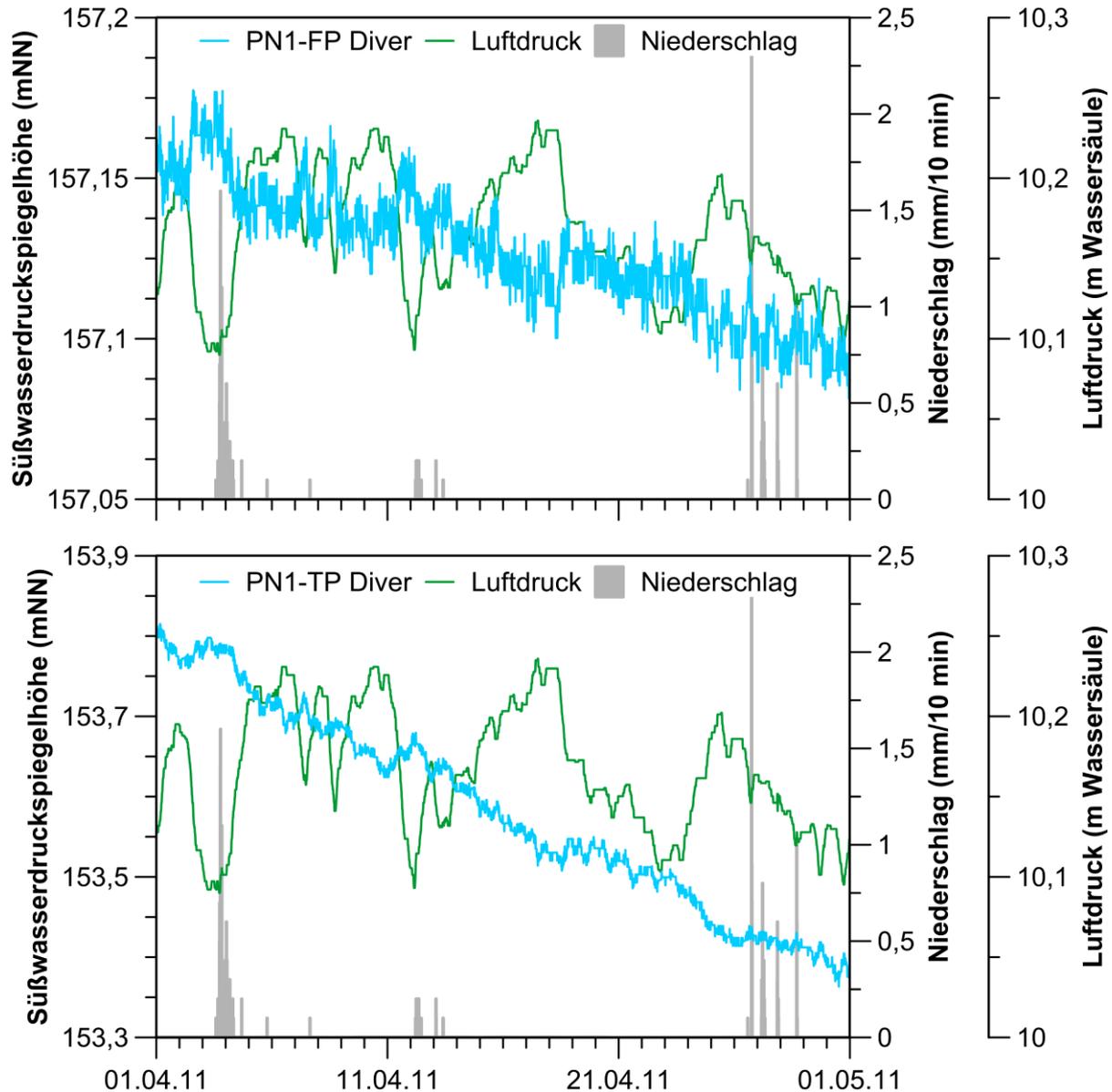


Abb. 4.32: Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM PN1-FP (oben) und PN1-TP (unten) im Monat April 2011 mit den Niederschlagssummen und den Luftdruckwerten.

GWM PN2 (FP: *mm*, TP: *mu*; SW-Flanke)

Die GWM PN2 wurde im Jahr 2009 auf der Südwest-Flanke, ca. 1,4 km südöstlich von Schacht Asse 2 in Richtung Schacht Asse 3 errichtet. Analog zu PN1 ist diese GWM als Messstellenbündel konzipiert. Sie erschließt stark aufgelockerte Kalksteine des Mittleren Muschelkalk (*mm*) in einem Flachpegel (PN2-FP) sowie Schichten des basalen Unteren Muschelkalk (*mu1*), wenige Meter über dem Übergang Unterer Muschelkalk/Oberer Buntsandstein (*mu/so*), in einem Tiefpegel (PN2-TP). Das Überrohr des Tiefpegels liegt um 10 cm tiefer als das Überrohr des Flachpegels um Verwechslungen bei der Messung des Grundwasserspiegels und bei der Probennahme zu vermeiden.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 100 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Beide Filterstrecken sind hydraulisch durch eine ca. 180 m mächtige Tonsperre voneinander getrennt.

Messpunkthöhe	207,37 mNN
Länge Filterstrecke	5 m (FP und TP)
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	43,7 m (FP), 230 m (TP)
Bandbreite der k_f -Werte	keine Daten
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	0,04 m (FP), 0,2 m (TP)

Der Verlauf der Ganglinie ist für den Tief- als auch für den Flachpegel sehr ähnlich zu den Beobachtungen in der GWM PN1, es werden aber in dieser Messstelle nach Niederschlagsereignissen keine kurzfristigen Aufspiegelungen beobachtet (Abb. 4.33). Die Ganglinie weist jeweils ebenfalls eine leicht abfallende Süßwasserdruckspiegelhöhe bis zum Spätherbst 2010 auf, gefolgt von einem progressiven Anstieg im Winter, der dann mit Beginn des Frühjahrs 2011 wieder in einen graduellen Abfall übergeht. Dabei zeigt die Süßwasserdruckspiegelhöhe im Flachpegel einen Schwankungsbereich von ca. 2,5 m, d.h. Werte zwischen 166,3 mNN bis 168,8 mNN. Für den Tiefpegel liegt der Schwankungsbereich bei ca. 4,7 m und weist mit Werten zwischen 160,5 mNN und 165,2 mNN eine deutliche niedrigere Süßwasserdruckspiegelhöhe als der Flachpegel auf. Die Differenz der Süßwasserdruckspiegelhöhe zwischen dem Flach- und dem Tiefpegel ist wiederum zeitlich variabel. Es ergibt sich eine minimale Differenz von etwa 3,5 m in den Monaten Februar und März 2011 sowie eine maximale Differenz von etwa 6,5 m im November 2010 (Abb. 4.34). Daraus lässt sich – unter Annahme einer hydraulischen Verbindung des Kluftgrundwasserleiters – mittels des Höhenunterschiedes von 186,3 m zwischen den Filterstrecken ein abwärts gerichteter Gradient von ca. 0,03 m/m für den Februar-März 2011 und ca. 0,02 m/m für den November 2010 ableiten.

Die hochauflösende Darstellung der Ganglinie der GWM PN2 zeigt eine gute Korrelation der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe mit Luftdruckveränderungen sowohl für den Flach- als auch für den Tiefpegel (Abb. 4.35). Zudem sind höherfrequente Schwankungen von mehreren Zentimetern Amplitude vorhanden, die visuell möglicherweise mit Änderungen der Gezeitenkräfte korrelieren (Abb. 4.35).

Die resultierende Süßwasserdruckspiegelhöhe des Diver-Druckaufnehmers liegt zumeist ca. 15 bis 20 cm über der aus den Abstichen berechneten Süßwasserdruckspiegelhöhe (Abb. 4.33).

Im Gegensatz zu den Temperaturganglinien in GWM PN1 treten in GWM PN2 nach Niederschlagsereignissen keine kurzfristigen Änderungen der Grundwassertemperatur auf. Die im Tiefpegel der GWM PN2 beobachteten Temperaturänderungen im Januar und Februar 2011 (Abb. 4.33) korrelieren jeweils mit den Abstichen bzw. den Beprobungen des Grundwassers.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 101 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

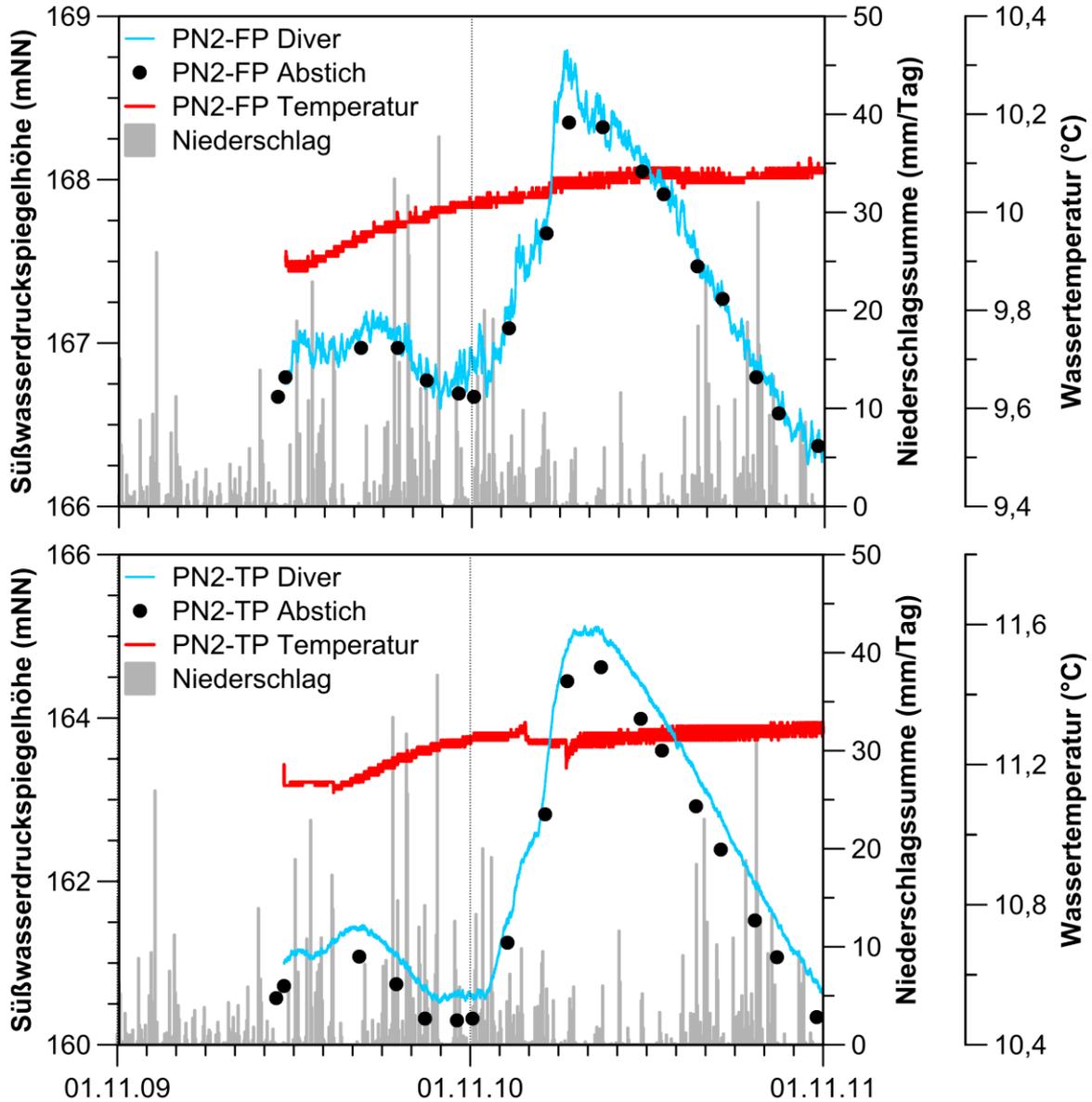


Abb. 4.33: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM PN2-FP (oben) und PN2-TP (unten) mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 102 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

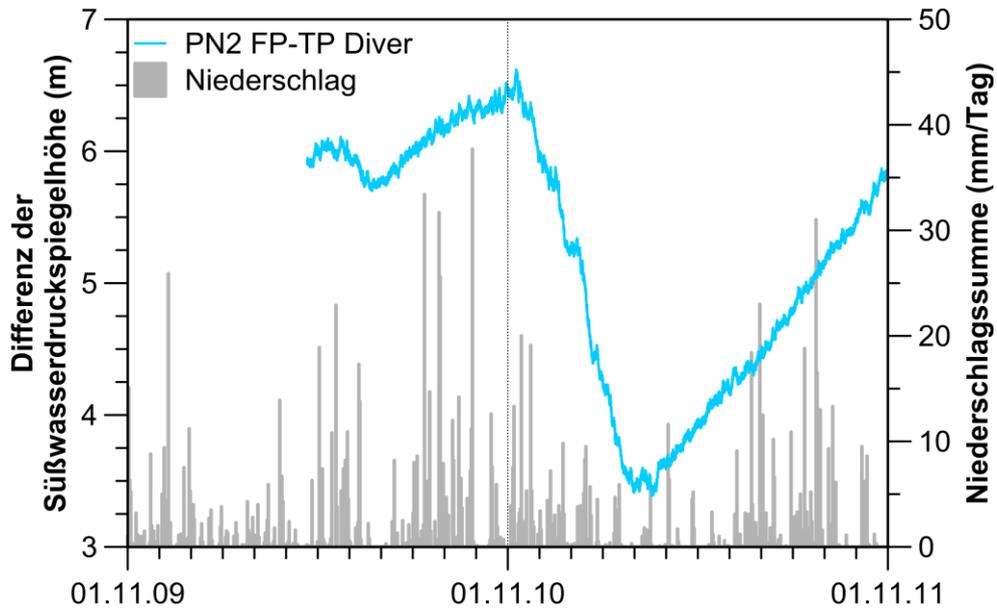


Abb. 4.34: Differenz der Süßwasserdruckspiegelhöhe des Flach- und des Tiefpegels in der GWM PN2 (hydrologische Jahre 2010 und 2011) zusammen mit den Niederschlagssummen.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 103 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

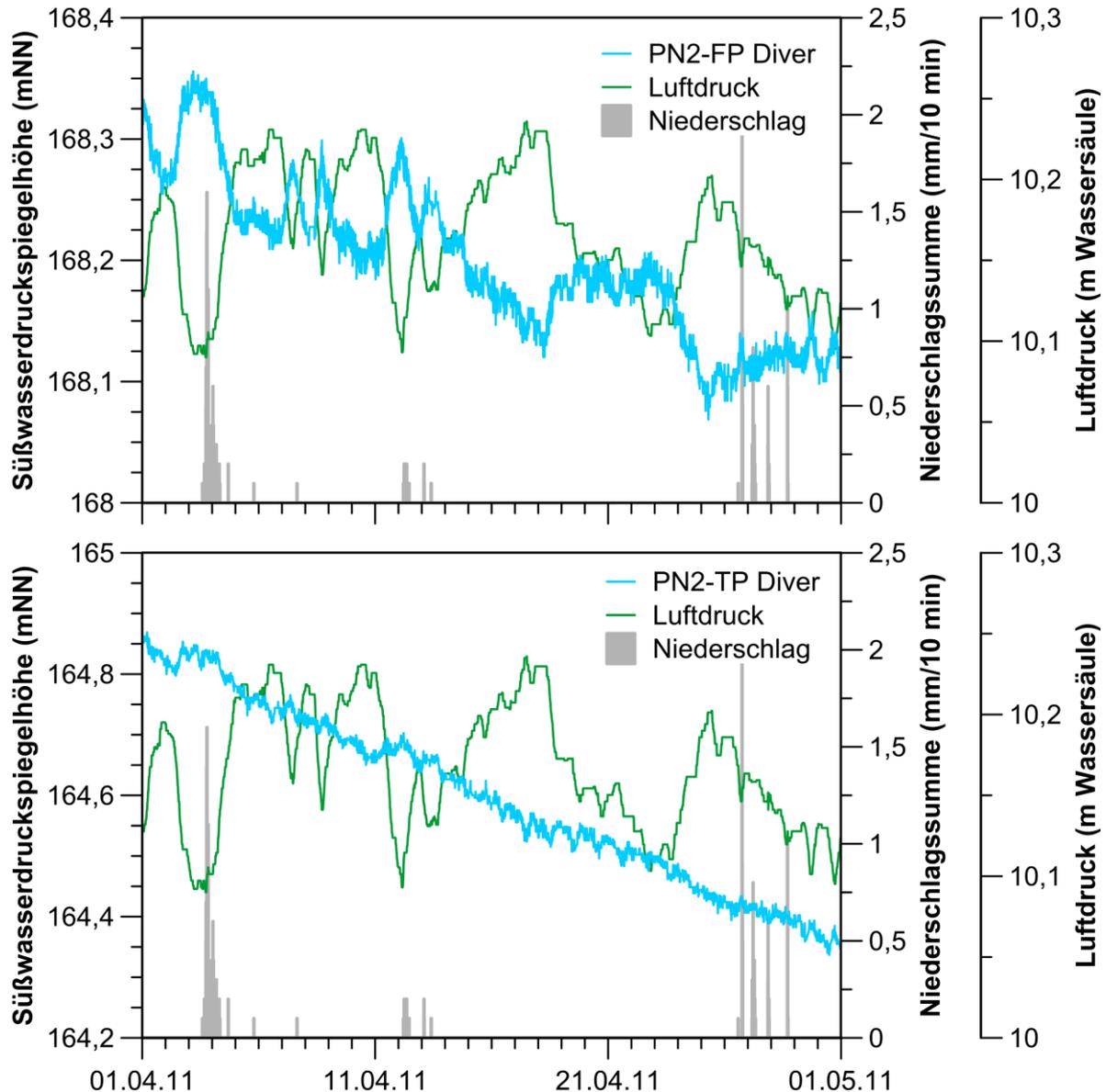


Abb. 4.35: Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM PN2-FP (oben) und PN2-TP (unten) im Monat April 2011 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.

GWM R5 (*mu*, SW-Flanke)

Die Tiefbohrung R5 wurde etwa 500 m süd-südwestlich von Schacht Asse 2 auf der Südflanke der Asse-Struktur abgeteuft. Diese Bohrung wurde von 791 m bis zu einer Tiefe von 896 m über eine Perforierung der Verrohrung zu einer GWM ausgebaut. Dementsprechend erschließt sie dolomitische und ankeritische Kalk- und Mergelsteine des Unteren Muschelkalk (*mu*). Das Zentrum des perforierten Standrohrabschnittes liegt in einer Tiefe von 843,5 m unter dem Messpunkt. Aufgrund der hohen Salinität des Wassers ist eine Dichtekorrektur von ca. 44,5 m erforderlich.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 104 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Messpunkthöhe	172,64 mNN
Länge perforiertes Standrohr	105 m
Zentrum perforiertes Standrohr unter Messpunkthöhe	843,5 m
Bandbreite der k_f -Werte (Tab. 3.3)	$6 \cdot 10^{-12} - 2,5 \cdot 10^{-10}$ m/s
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	44,54 m

Die Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe der GWM R5 weist für die hydrologischen Jahre von 2002 bis 2011 keine erkennbaren mehrjährigen oder saisonalen Schwankungen auf (Abb. 4.36). Eine Korrelation mit Niederschlagsereignissen, Luftdruckänderungen oder Gezeitenkräften aus der Ganglinie nicht ersichtlich (Abb. 4.37). Dieser typische „glatte“ Verlauf ist auch in den Jahren vor 2002 bis zurück zum Beginn der Messungen im Jahr 1985 zu beobachten (Abb. B.9 im Anhang). Die in den Jahren 1986 beobachteten kurzfristigen Wasserspiegelanstiege sind die Folge von Oberflächenwasserzutritten in das Standrohr, der markante Wasserspiegelabfall im Jahr 1989 ist durch das Abpumpen der Süßwassersäule bedingt (Abb. B.9). Insgesamt zeigt sich nach dem Ende des Wiederanstiegs Mitte der 1990er-Jahre (Abb. B.9) ein stetiger Abfall der Süßwasserdruckspiegelhöhe und für den Zeitraum der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 ca. 25,5 m beträgt (von ca. 169,5 mNN bis auf ca. 143 mNN; Abb. 4.36). Die Rate des Wasserspiegelabfalls hat sich mit ca. 1 m pro Jahr in 2002 auf ca. 2,5 m pro Jahr seit 2003 beschleunigt.

Die mittels dem Diver- und dem Seba-Druckaufnehmer bestimmte Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe für die GWM R5 zeigt eine sehr gute Übereinstimmung (Abb. 4.37). Die Ganglinie der Grundwassertemperatur des Diver-Druckaufnehmers weist einen geringen langfristigen Anstieg von 12 zu 12,2 °C seit Beginn der Messungen im Juni 2010 auf.

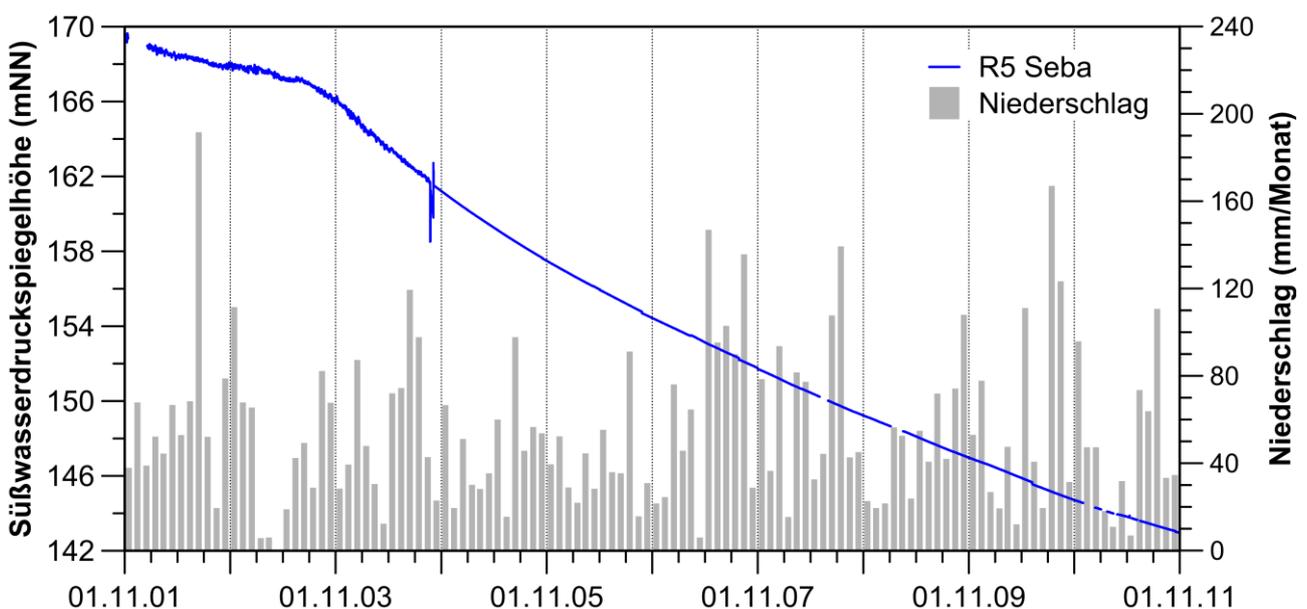


Abb. 4.36: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM R5 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 105 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

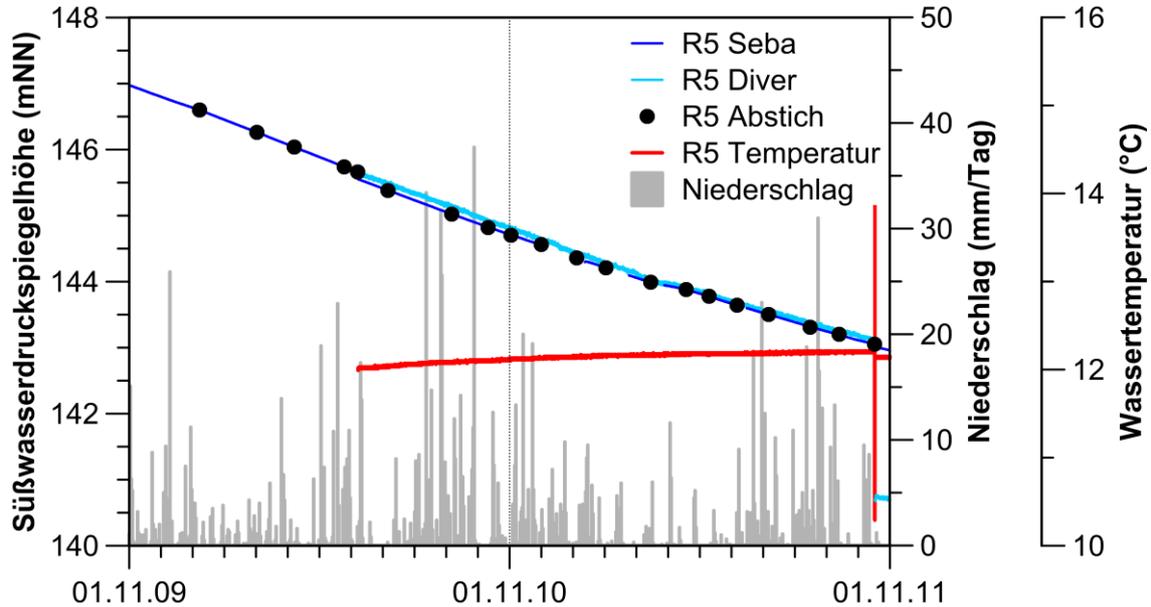


Abb. 4.37: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM R5 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).

GWM R6 (*mu*, SW-Flanke)

Die Tiefbohrung R6 wurde etwa 350 m süd-südwestlich von Schacht Asse 2 auf der Südflanke der Asse-Struktur niedergebracht. Sie wurde durch die Perforation der Verrohrung in einer Tiefe von 476,3 m bis 519 m unter dem Messpunkt zur GWM ausgebaut. Damit erschließt sie Kalk- und Mergelsteine des Unteren Muschelkalk (*mu*). Bedingt durch die Beschädigung der Verrohrung kurz oberhalb der Perforationstrecke in ca. 476 m Tiefe sind die Aufnahme von Dichteprofilen und die Entnahme von Wasserproben unterhalb nicht mehr möglich¹. In dieser Messstelle ist nur ein Seba-Druckaufnehmer vorhanden, der in einer Tiefe von ca. 90 m unter der Messpunkthöhe eingebaut ist.

Messpunkthöhe	193,32 mNN
Länge perforiertes Standrohr	42,7 m
Zentrum perforiertes Standrohr unter Messpunkthöhe	497,65 m
Bandbreite der k_f -Werte (Tab. 3.3)	$1,8 \cdot 10^{-10} - 8,6 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	20,03 m

Die Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe zeigt nach einem starken Anstieg von ca. 94 mNN auf 140 mNN in den Jahren 2002 und 2003 – der entsprechend den Angaben in [GSF 2004] durch

¹ Gemäß dem hydrogeologischen Jahresbericht [GSF 1996] sowie den Daten zur hydrochemischen Beprobung (Kap. 8) ist diese Beschädigung in den Jahren zwischen 1993 (letzte Beprobung bis in 518 m Tiefe) und 1995 (erstmaliges Leitfähigkeitslog, das nur bis zu 476 m Tiefe reicht) erfolgt.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 106 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

den Zufluss von Oberflächenwasser im Winter 2002/03 bedingt war – einen gedämpften Verlauf mit deutlichen mehrjährigen und saisonalen Schwankungen für die nachfolgenden hydrologischen Jahre bis 2011 im Bereich zwischen 131 mNN und 148 mNN (Abb. 4.38). Für den Zeitraum von 2003 bis 2011 treten jährliche Schwankungsbreiten der Süßwasserdruckspiegelhöhe von etwa 2 bis 12 m auf. Der Verlauf der überdurchschnittlich niederschlagsreichen bzw. -armen Jahre wird um ca. 10 bis 12 Monate verzögert nachgezeichnet (Abb. 4.38). Die Schwankungen innerhalb eines hydrologischen Jahres zeichnen sich jeweils durch einen raschen Anstieg in den Monaten Januar und Februar aus, der sich etwa ab den Monaten April und Mai zu einem graduellen Abfall umkehrt (Abb. 4.38, Abb. 4.39). Insgesamt lassen sich deutliche mehrjährige und saisonale Schwankungen auch in den Jahren vor 2002 bis zurück zum Beginn der Messungen im Jahr 1985 beobachten (Abb. B.10 im Anhang), wobei der markante Wasserspiegelabfall zu Beginn des hydrologischen Jahres 1989 durch das Abpumpen der Süßwassersäule bedingt ist (Abb. B.10).

Einzelne Niederschlagsereignisse lassen sich für die Ganglinie der GWM R6 nicht mit Änderungen der Süßwasserdruckspiegelhöhe korrelieren (Abb. 4.40). Es zeigen sich aber in dieser Darstellung deutliche, höherfrequente semidiurnale Schwankungen des Wasserspiegels mit einer Amplitude von ca. 2 cm bis 6 cm, die auf den potentiellen Einfluss von Gezeitenkräften hinweisen (nicht gezeigt). Darüber hinaus korreliert der Wasserspiegel in der GWM R6 auch mit Veränderungen des Luftdrucks (Abb. 4.40).

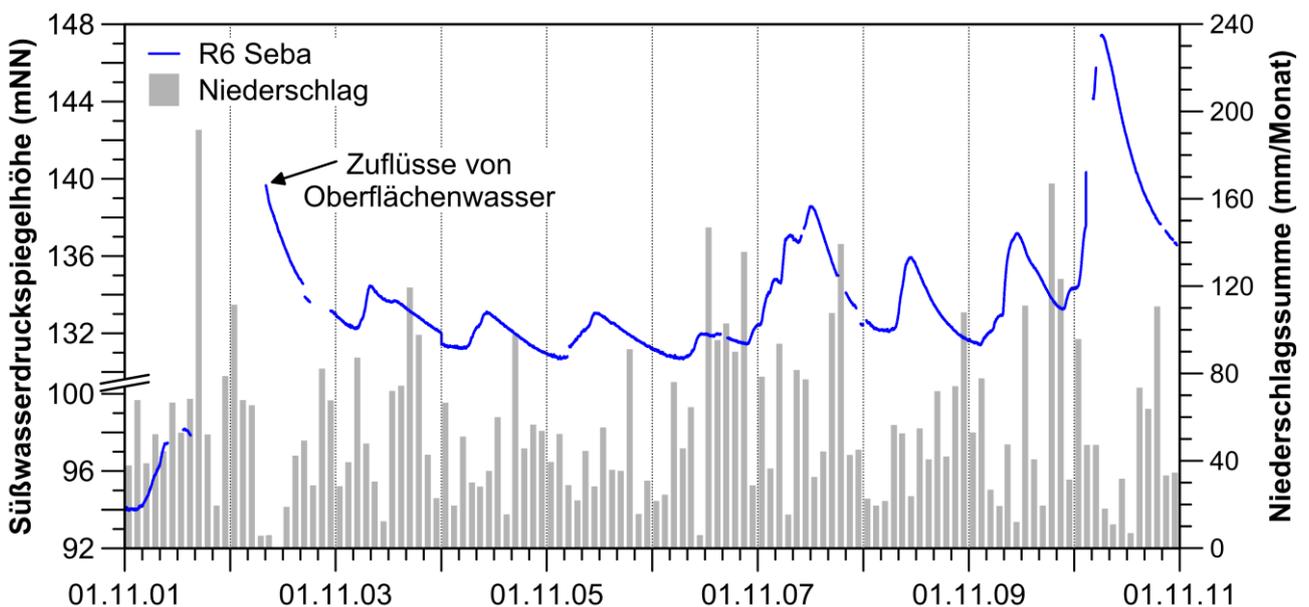


Abb. 4.38: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM R6 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011). Die y-Achse wurde zwecks Darstellbarkeit zwischen 100 und 126 mNN unterbrochen.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 107 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

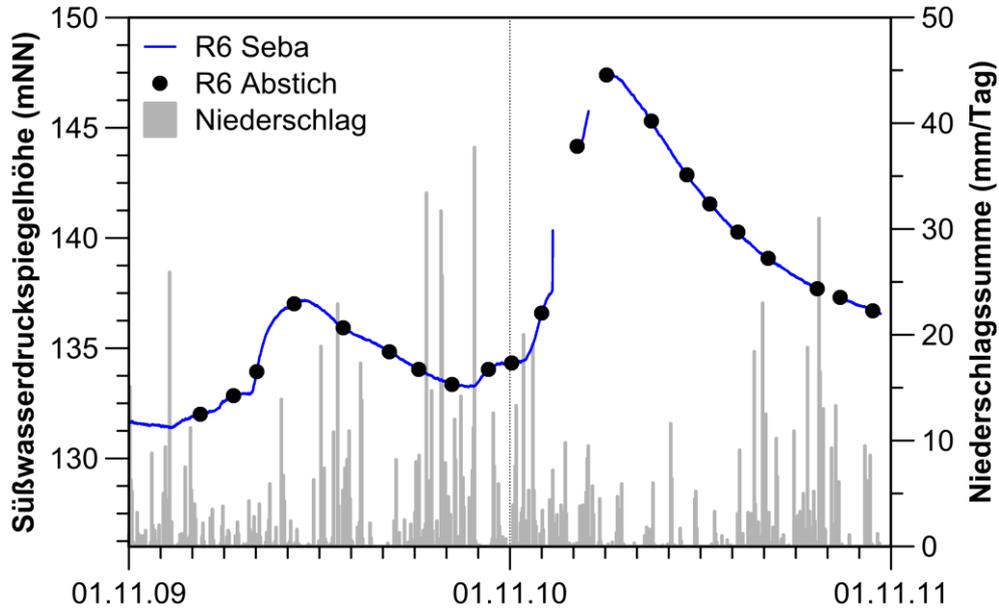


Abb. 4.39: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM R6 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).

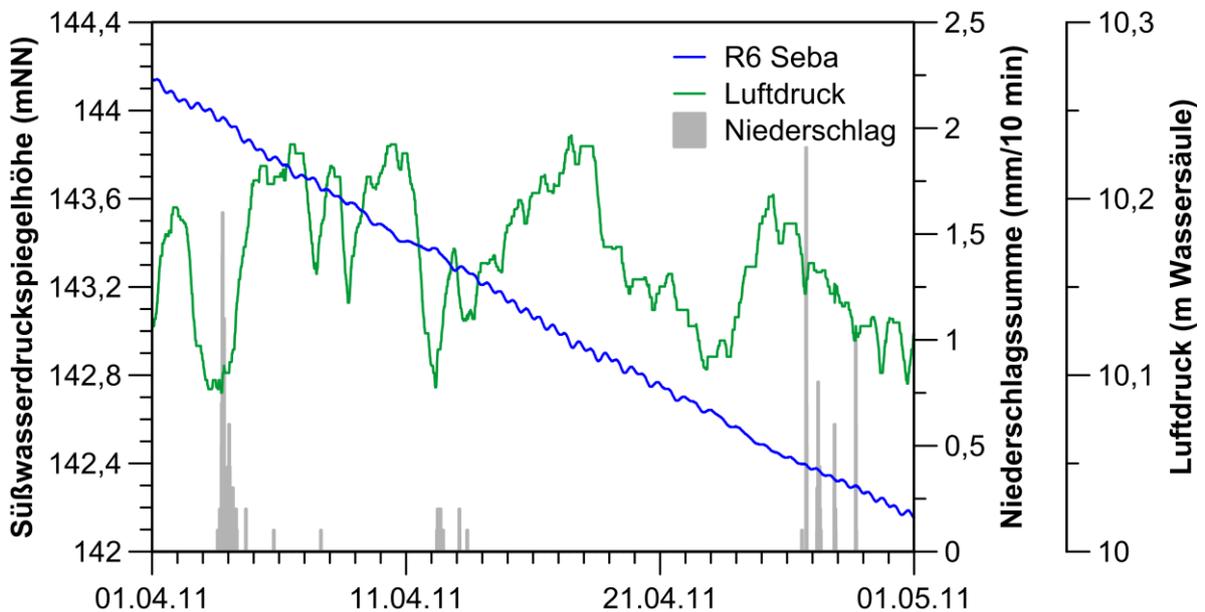


Abb. 4.40: Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM R6 im Monat April 2011 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 108 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

GWM R7 (*mu*, SW-Flanke)

Die Tiefbohrung R7 wurde etwa 650 m südwestlich von Schacht Asse 2 niedergebracht. Sie wurde im Tiefenbereich von 744 m bis 832 m unter dem Messpunkt durch die Perforation von 6, jeweils zwischen 2 und 10 m langen Standrohrintervallen, als GWM ausgebaut. Damit erschließt sie dolomitische und ankeritische Kalk- und Mergelsteine des Unteren Muschelkalk (*mu*). In dieser Messstelle sind ein Seba-Druckaufnehmer in ca. 70 m und ein Diver-Druckaufnehmer in ca. 80 m Tiefe unter Messpunkthöhe eingebaut.

Messpunkthöhe	181,32 mNN
Länge perforiertes Standrohr inkl. Unterbrechungen	88 m
Zentrum perforiertes Standrohr unter Messpunkthöhe	788 m
Bandbreite der k_f -Werte (Tab. 3.3)	$1 \cdot 10^{-12} - 2,5 \cdot 10^{-10}$ m/s
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	64,85 m

Die Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM R7 zeigt seit Beginn des hydrologischen Jahres 2002 bis zum Ende des hydrologischen Jahres 2011 einen stufenweisen Anstieg um mehrere Meter von ca. 184,5 mNN bis 187,7 mNN. Dabei traten signifikante Sprünge jeweils nach den überdurchschnittlich niederschlagsreichen Jahren 2002 (+1,4 m), 2007/08 (+1 m) sowie auch 2010 (+0,8 m) auf. Dazwischen zeigen sich stabile Perioden mit kurzzeitigen Schwankungen der Süßwasserdruckspiegelhöhe (Abb. 4.41). Auffällig ist eine starke Streuung der Daten jeweils in der ersten Jahreshälfte in den Jahren vor 2007, die höchstwahrscheinlich messtechnisch bedingt ist (Defekt und Austausch des Seba-Druckaufnehmers Anfang 2007).

Der typische „glatte“ Verlauf der Ganglinie der GWM R7 ohne markante mehrjährige bzw. saisonale Schwankungen ist auch in den Jahren vor 2002 bis zurück zum Beginn der Messungen im Jahr 1986 zu beobachten (Abb. B.11 im Anhang). Die in den Jahren 1989 beobachteten kurzfristigen Wasserspiegelabsenkungen sind die Folge von Beprobungen, der markante Wasserspiegelabfall in diesem Jahr ist durch das Abpumpen der Süßwassersäule bedingt (Abb. B.11).

Eine Korrelation der Ganglinie der GWM R7 mit einzelnen Niederschlagsereignissen (Abb. 4.42), Luftdruckschwankungen (Abb. 4.43) oder Gezeitenkräften (nicht gezeigt) ist nicht ersichtlich.

Insgesamt zeigen die Ganglinien der beiden Druckaufnehmer-Systeme für den Verlauf eine relativ gute Übereinstimmung (Abb. 4.42), wobei die Werte der Süßwasserdruckspiegelhöhe des Diver-Druckaufnehmers zumeist wenige Zentimeter über denen des Seba-Druckaufnehmers liegen.

Die Grundwassertemperatur der Diver-Druckaufnehmer weisen für die GWM R7, ähnlich wie bei GWM R5, nur einen leichten langfristigen Anstieg von 11,7 °C auf 11,9 °C seit Beginn der Messungen im Juni 2010 auf (Abb. 4.42).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 109 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

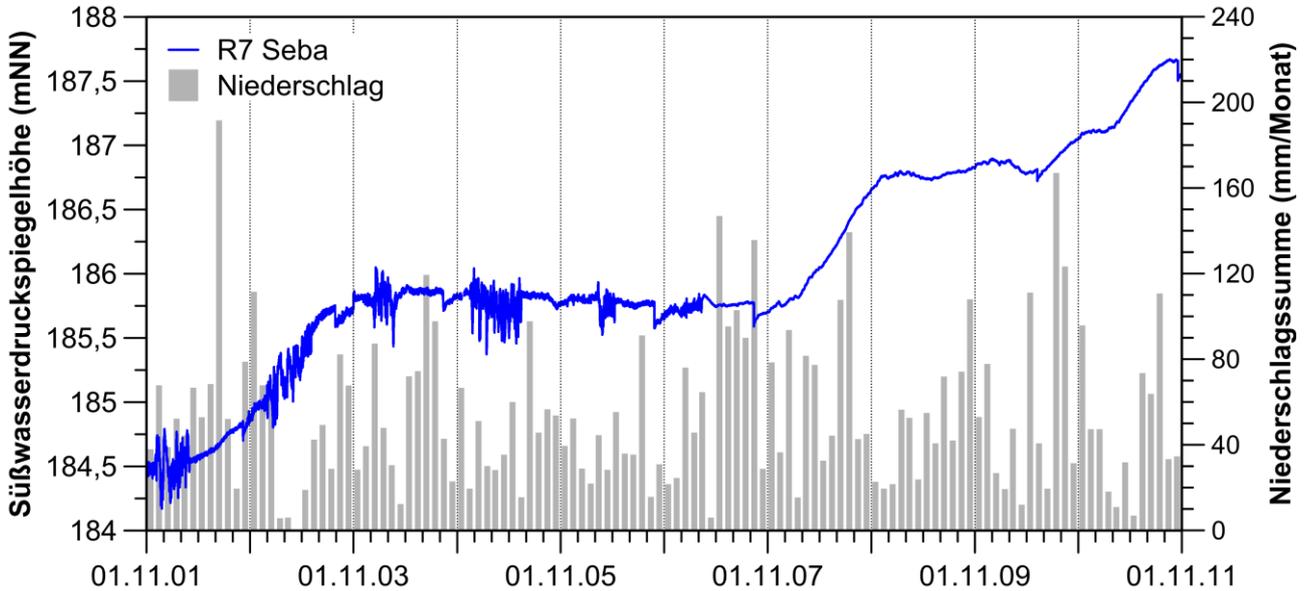


Abb. 4.41: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM R7 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).

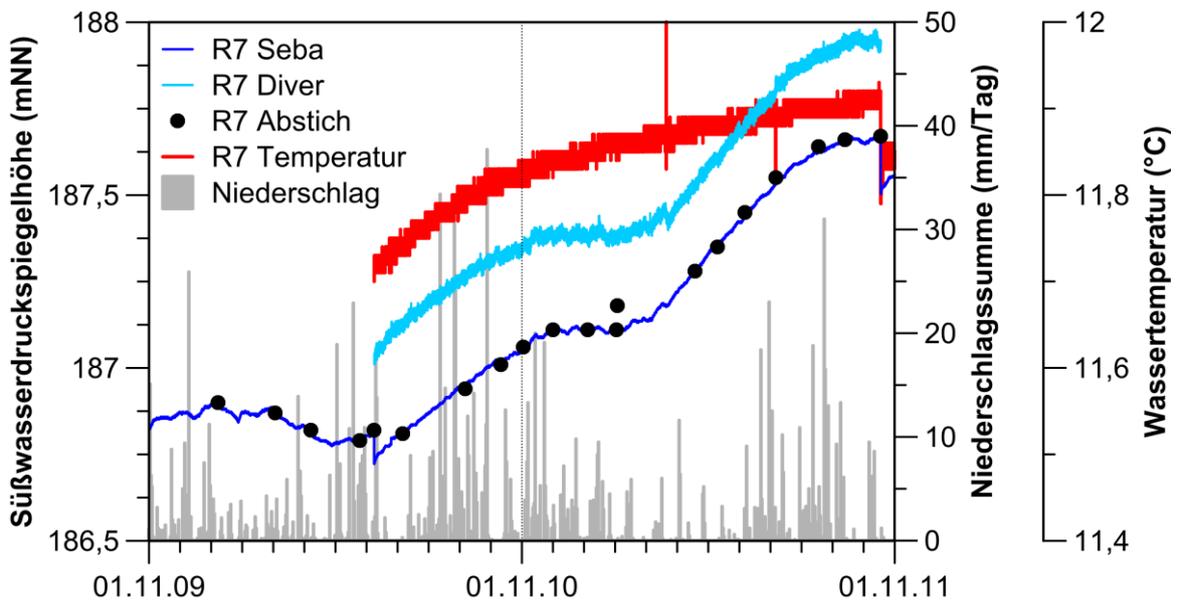


Abb. 4.42: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM R7 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 110 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

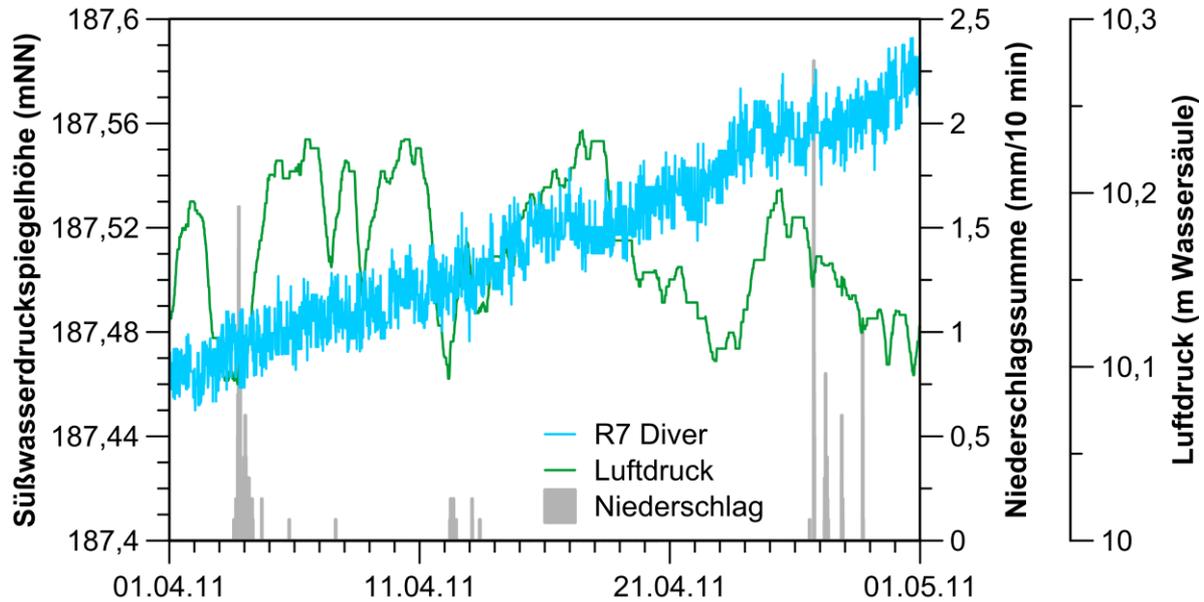


Abb. 4.43: Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe im Monat April 2011 in der GWM R7 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.

GWM R8 (*mu*, SW-Flanke)

Die Tiefbohrung R8 wurde auf der Südflanke der Asse-Struktur, etwa 650 m südöstlich von Schacht Asse 2 niedergebracht. Analog zur GWM R7 wurde sie im Bereich von ca. 463 m bis 611 m Tiefe unter dem Messpunkt durch die Perforation von 6, jeweils zwischen 3 und 20 m langen Standrohrintervallen, als Messstelle ausgebaut. Damit erschließt sie dolomitische und ankeritische Kalk- und Mergelsteinen des Unteren Muschelkalk (*mu*). Der Seba-Druckaufnehmer ist in ca. 50 m und der Diver-Druckaufnehmer in ca. 80 m Tiefe positioniert.

Messpunkthöhe	161,65 mNN
Länge perforiertes Standrohr inkl. Unterbrechungen	148 m
Zentrum perforiertes Standrohr unter Messpunkthöhe	537 m
Bandbreite der k_f -Werte (Tab. 3.3)	μ : $4,5 \cdot 10^{-11} - 1 \cdot 10^{-9}$ m/s
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	9,11 m

Es zeigt sich in dieser GWM für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 ein gedämpfter Verlauf der Ganglinie mit deutlichen mehrjährigen sowie saisonalen Schwankungen der Süßwasserdruckspiegelhöhe zwischen 136 mNN bis 145,8 mNN (Abb. 4.44). Die Reaktion auf die überdurchschnittlich niederschlagsreichen Jahre 2002 und 2007/08 erfolgt, ähnlich wie bei der Bohrung R6, jeweils um etwa 10 bis 12 Monate verzögert. Ebenfalls vergleichbar zur GWM R6 zeigt sich in dieser GWM ein ausgeprägter saisonaler, sägezahnförmiger Verlauf der Ganglinie. Dieser zeichnet sich durch einen raschen Anstieg der Süßwasserdruckspiegelhöhe in den Monaten Januar und Februar aus, der sich etwa ab dem Monat April bzw. Mai zu einem graduellen Abfall umkehrt. Auf-



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 111 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

fällig ist eine starke Streuung der Daten jeweils in der ersten Jahreshälfte in den Jahren vor 2007, die höchstwahrscheinlich messtechnisch bedingt ist (Defekt und Austausch des Seba-Druckaufnehmers Anfang 2007).

Der typische Verlauf der Ganglinie des Wasserspiegels in der GWM R8 mit mehrjährigen sowie saisonalen Schwankungen des Wasserspiegels (Abb. 4.45) ist auch in den Jahren vor 2002 bis zurück zum Beginn der Messungen im Jahr 1986 zu beobachten (Abb. B.12 im Anhang). Der im Jahr 1989 beobachtete kurzfristige Wasserspiegelabfall ist die Folge von einer Probennahme, der markante Wasserspiegelabfall in diesem Jahr ist durch das Abpumpen der Süßwassersäule bedingt (Abb. B.12). Die Wasserspiegelanstiege in den Jahren 1992, 1993, 1996 und 1997 sind durch Zufluss von Oberflächenwasser in die Bohrung entstanden (Abb. B.12).

Reaktionen auf individuelle Niederschlagsereignisse, Luftdruckschwankungen und Gezeitenkräfte sind in der Ganglinie der GWM R8 nicht zu beobachten (nicht gezeigt).

Insgesamt zeigen die Ganglinien der beiden Druckaufnehmer-Systeme für den Verlauf der Süßwasserdruckspiegelhöhe eine relativ gute Übereinstimmung (Abb. 4.45), wobei die Werte des Diver-Druckaufnehmers wenige Zentimeter über denen des Seba-Systems liegen.

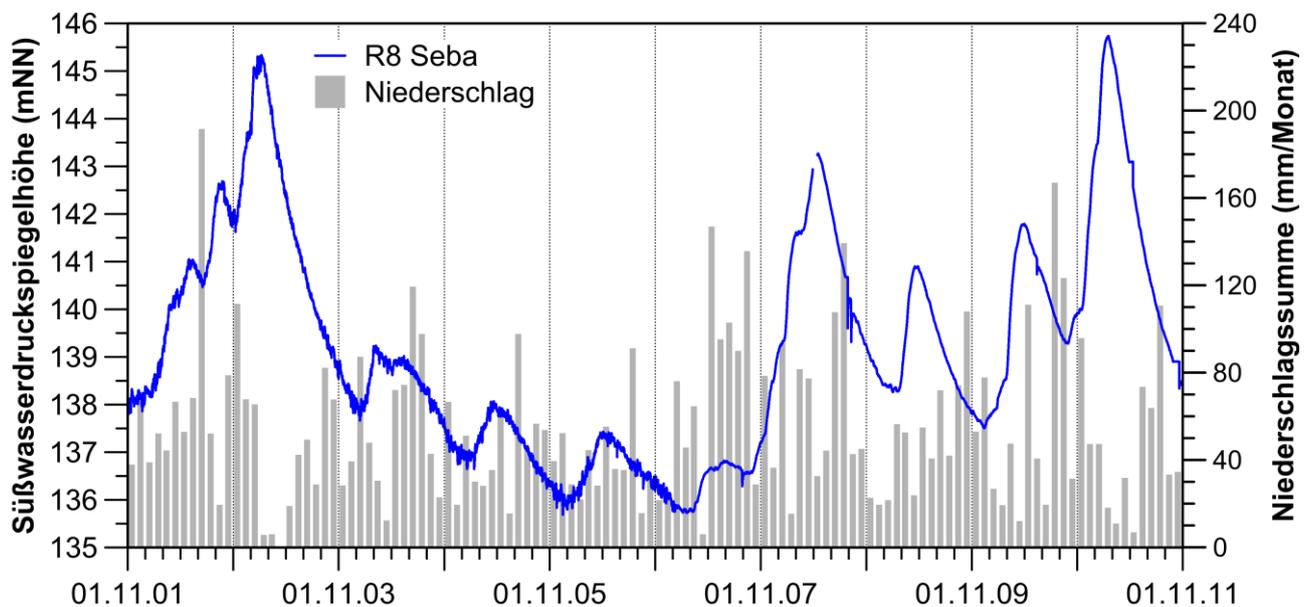


Abb. 4.44: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM R8 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 112 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

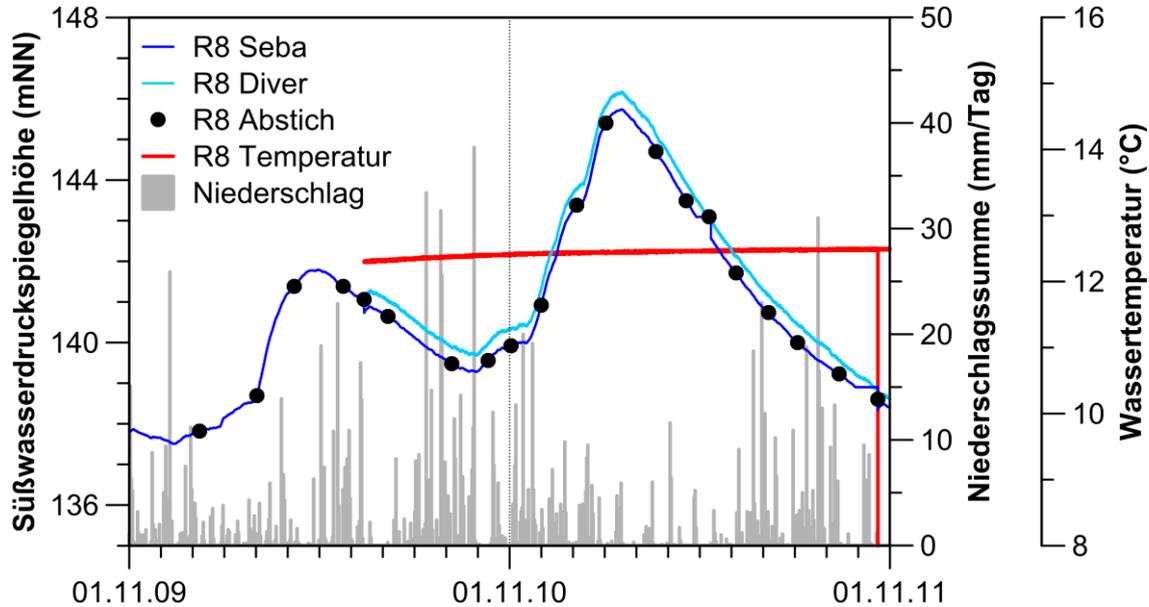


Abb. 4.45: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM R8 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).

GWM H6 (*q*, *mm*, *so1*, SW-Flanke)

Die GWM H6 liegt ca. 100 m südlich von Schacht Asse 2 in der Südwest-Flanke direkt bei der Abzweigung der Straße von Remlingen nach Groß Vahlberg zur Schachtanlage Asse II. Diese GWM besitzt eine vierfach unterteilte, von ca. 16 m unter dem Messpunkt bis zur maximalen Ausbautiefe in 68,3 m Tiefe reichende Filterstrecke. Damit erschließt sie vom Hangenden zum Liegenden das hier etwa 32 m mächtige und teilweise sandig-kiesige Quartär (*q*), die Kalk-Mergelsteine des Mittleren Muschelkalk (*mm*) und den tonig-mergeligen Rötanhydrit (*so1*). Die beiden Druckaufnehmer sind in einer Tiefe von ca. 16 m (Seba) und ca. 32 m (Diver) unter dem Messpunkt, im Bereich des obersten Filterrohres (Seba), bzw. des zweiten Filterrohres (Diver) von oben positioniert.

Messpunkthöhe	179,98 mNN
Länge Filterstrecke inkl. Unterbrechungen	52,5 m
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	42 m
Bandbreite der k_f -Werte (Tab. 3.3)	$4,2 \cdot 10^{-8} - 7,2 \cdot 10^{-8}$ m/s
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	0,71 m

Generell zeigt die Ganglinie der GWM H6 für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 ausgeprägte mehrjährige und saisonale Variationen mit einer Schwankungsbreite im Bereich von etwa 11,5 m, d.h. zwischen ca. 163,6 mNN und 174 mNN (Abb. 4.46). Innerhalb eines hydrologischen Jahres zeigen sich Maxima der Süßwasserdruckspiegelhöhen in den Monaten Februar/März bis Mai/Juni – wobei dieses Maximum nach den niederschlagsreichen Jahren 2002 und 2007/08 bereits ab dem Januar auftritt – gefolgt von langem, stetigem Abfall bis hin zu den Monaten Oktober bis De-



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 113 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

zember (Abb. 4.46). Die Schneeschmelze zeigt sich deutlich durch einen graduellen, starken Anstieg der Süßwasserdruckspiegelhöhe, während die Reaktion auf einzelne Niederschlagsereignisse gering ausgeprägt ist und nur bei Starkregenereignissen zu beobachten ist (Abb. 4.47). Insgesamt ist der typische Verlauf der Ganglinie der GWM H6 mit den deutlichen mehrjährigen und saisonalen Schwankungen des Wasserspiegels auch in den Jahren vor 2002 bis zum Beginn der Messungen im Jahr 1981 zu beobachten (Abb. B.13 im Anhang).

Der Vergleich der Ganglinie des Diver-Druckaufnehmers mit der Ganglinie des Luftdrucks (Abb. 4.48) zeigt eine gewisse Korrelation. Diese weist – im Gegensatz zur Korrelation bei den bisher beschriebenen Messstellen – eine Verschiebung der jeweiligen Maxima und Minima der Süßwasserdruckspiegelhöhe um 2 bis 3 Tage gegenüber der Ganglinie des Luftdrucks auf. Höherfrequente (z.B. semidiurnale) Schwankungen mit niedriger Amplitude, die auf Einflüsse von Gezeitenkräften hinweisen könnten, sind nicht zu beobachten.

Insgesamt zeigt der Verlauf der Ganglinie des Diver-Druckaufnehmers eine gute Übereinstimmung mit der Ganglinie des Seba-Systems, wobei erstere wenige Zentimeter unterhalb der letzteren liegt. Die beobachteten Temperaturschwankungen liegen in der GWM H6 nur zwischen ca. 11,45 °C bis 11,49 °C und sind somit sehr gering (Abb. 4.47).

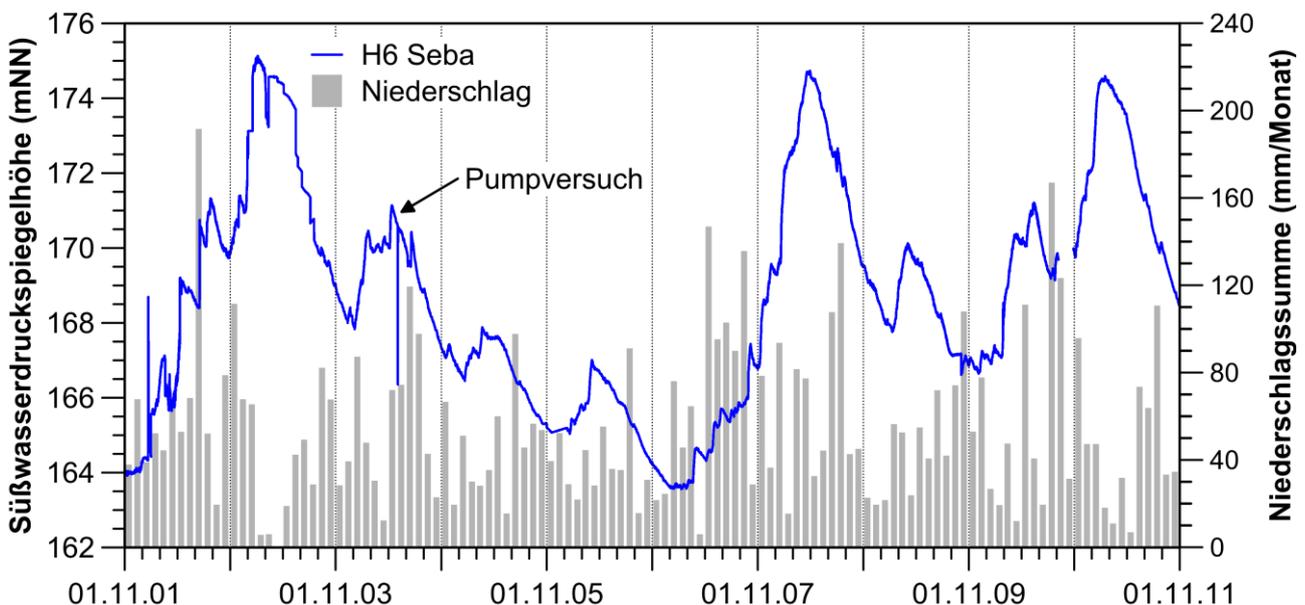


Abb. 4.46: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H6 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 114 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

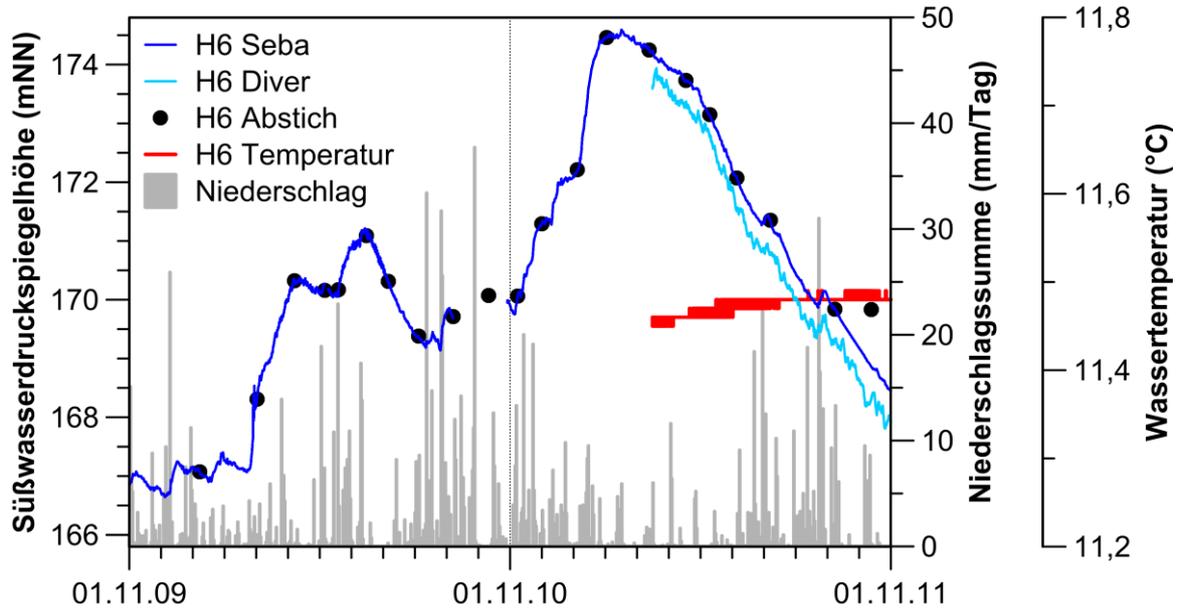


Abb. 4.47: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H6 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).

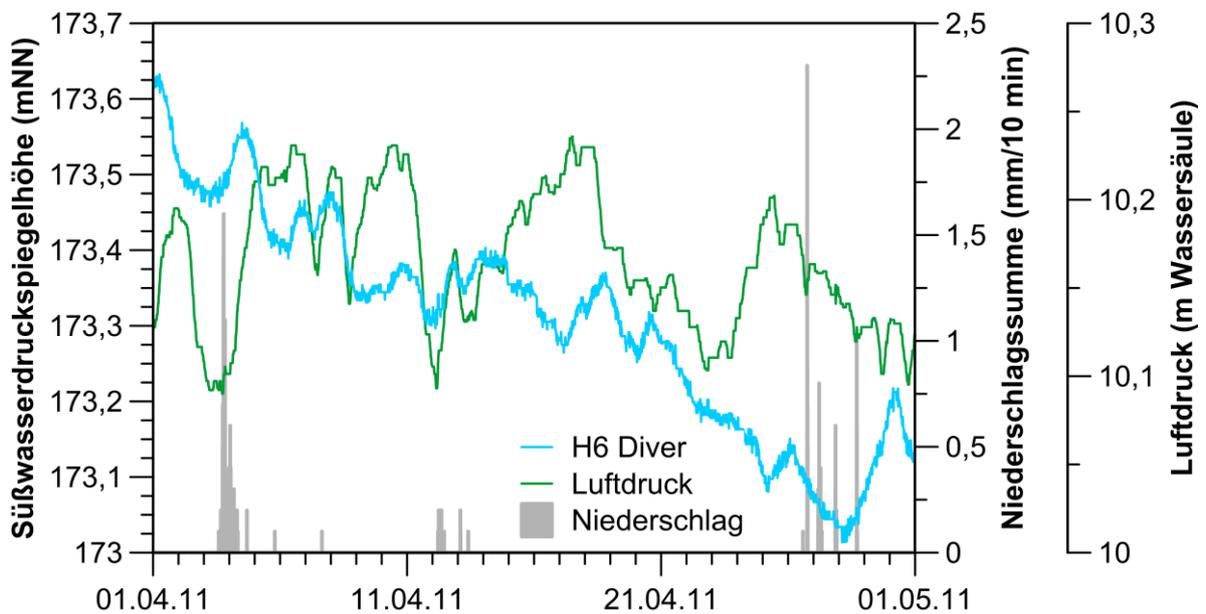


Abb. 4.48: Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H6 im Monat April 2011 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 115 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

GWM H16 (*mm*, SW-Flanke)

Die GWM H16 liegt in der Südwest-Flanke, nur wenige Meter östlich der Bohrung H6, auf der gegenüberliegenden Seite der Straße von Remlingen nach Groß Vahlberg. Das Filterrohr der GWM H16 erstreckt sich von ca. 7 m bis 35 m Tiefe unter der Messpunkthöhe und erschließt Mergel- und Kalksteine sowie ab ca. 23 m Tiefe gipshaltige Tonsteine des Mittleren Muschelkalk (*mm*). Die Druckaufnehmer sind in einer Tiefe von ca. 20 m (Seba) und 30 m (Diver) eingebaut.

Messpunkthöhe	176,20 mNN
Länge Filterstrecke	28 m
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	21,1 m
Bandbreite der k_f -Werte (Tab. 3.3)	$2,6 \cdot 10^{-8} - 1,4 \cdot 10^{-7}$ m/s
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	0,19 m

Die Süßwasserdruckspiegelhöhe zeigt in hydrologischen Jahren 2002 bis 2011 deutliche mehrjährige sowie saisonale Schwankungen mit einer maximalen Amplitude von 14 m, d.h. zwischen ca. 158,4 mNN und 172,4 mNN. Dementsprechend weist diese Messstelle zeitweise eine freie Filterstrecke auf. Die Abfolge von niederschlagsreichen und -armen Jahren korreliert gut mit der absoluten Höhe der Wintermaxima, ist aber für die niederschlagsreichen Jahre 2007/08 leicht verschoben (um ca. 0,8 bis 1 Jahr), während das niederschlagsreiche Jahr 2002 unmittelbar mit einer relativ hohen Süßwasserdruckspiegelhöhe korreliert (Abb. 4.49). Generell zeigt die Ganglinie der GWM H16 einen unruhigen saisonalen Verlauf. Typisch ist ein rapider Anstieg während der Monate Januar und Februar, gefolgt von einem langsamen Abfall hin zu einem Jahresminimum im Monat November bzw. Dezember. Der unruhige Verlauf resultiert daraus, dass sich starke Niederschlagsereignisse z.T. deutlich in kurzfristigen Schwankungen zeigen (Abb. 4.50). Insgesamt ist der typische Verlauf der Ganglinie der GWM H16 mit den deutlichen mehrjährigen und saisonalen Schwankungen des Wasserspiegels auch in den Jahren vor 2002 bis zum Beginn der Messungen im Jahr 1981 zu beobachten (Abb. B.14 im Anhang).

Die hochauflösende Darstellung der Ganglinie der GWM H16 zeigt eine gute Korrelation der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe mit Luftdruckveränderungen (nicht gezeigt), während höherfrequente (z.B. semidiurnale) Schwankungen mit niedriger Amplitude, die auf Einflüsse von Gezeitenkräften hinweisen könnten, nicht zu beobachten sind.

Die Ganglinien beider Druckaufnehmersysteme zeigen für die GWM H16 eine gute Übereinstimmung hinsichtlich des Verlaufs und der Höhe der Süßwasserdruckspiegelhöhe.

Die Grundwassertemperaturen zeigen von 2010 bis 2011 einen geringen graduellen Anstieg von ca. 10,3 °C bis 10,36 °C (Abb. 4.50).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 116 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

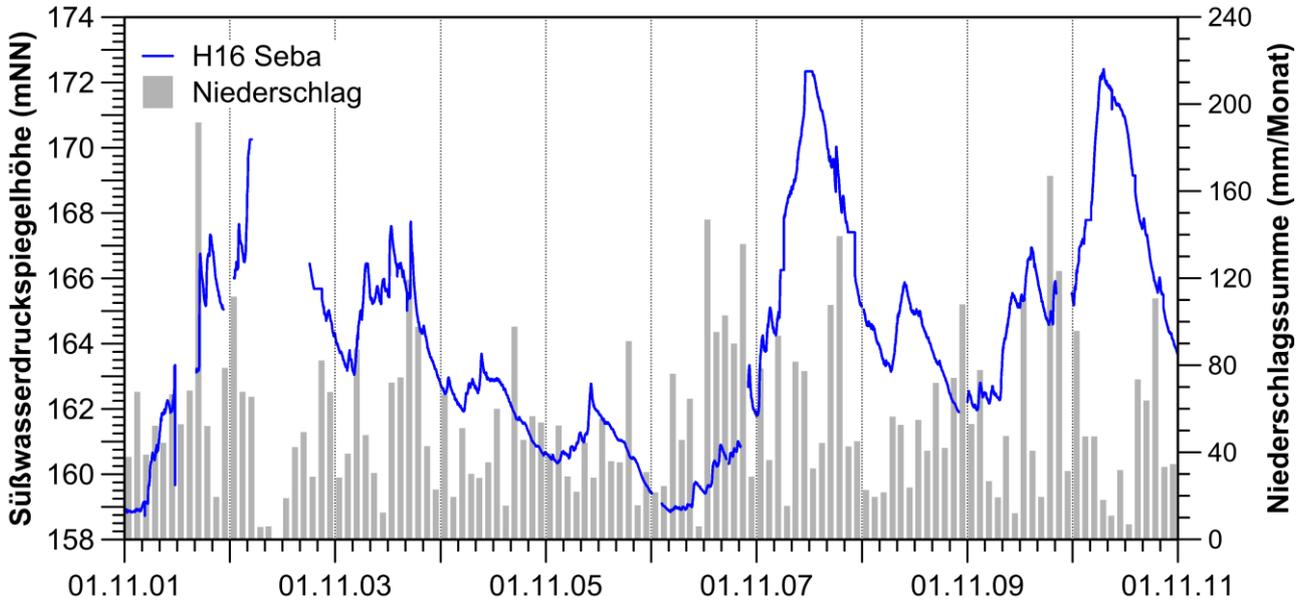


Abb. 4.49: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H16 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).

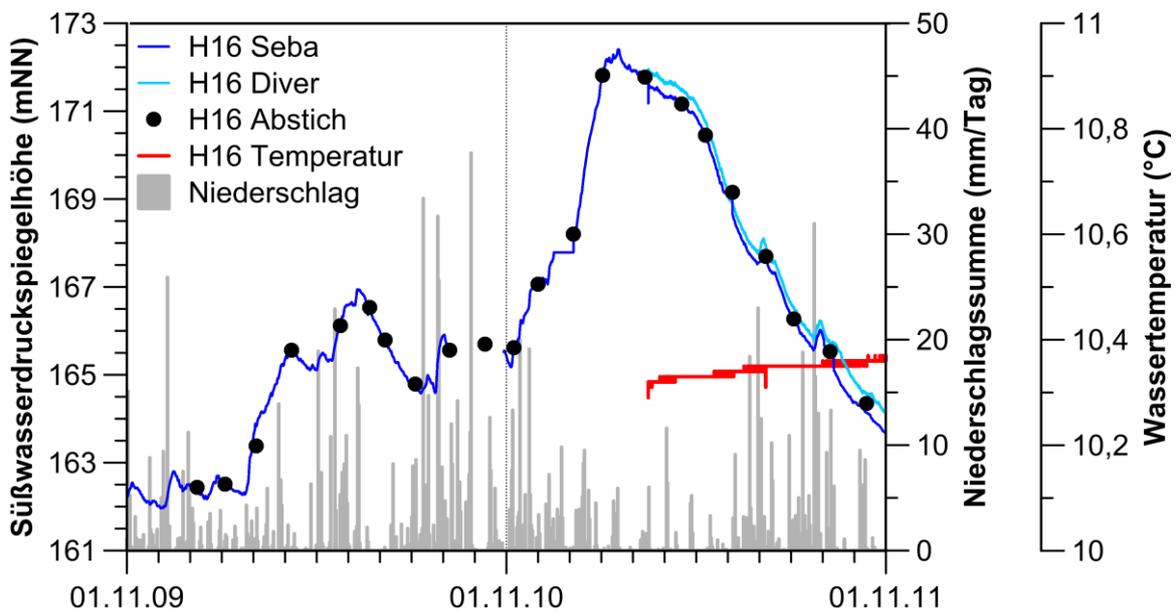


Abb. 4.50: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H16 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 117 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

GWM P13 (*mm*, *so2-so3*, SW-Flanke)

Die GWM P13 liegt in der Südwest-Flanke der Asse-Struktur, ca. 250 m südwestlich von Schacht Asse 2. Sie wurde mit einer dreifach geteilten Filterstrecke in oberflächennahen dolomitischen Mergelsteinen (bis 30 m) und gips- bzw. anhydritreiche Tonsteinen (bis 85 m) des Mittleren Muschelkalk (*mm*) sowie im Abschnitt von 85 bis 95 m unter dem Messpunkt in den anhydrithaltigen Tonsteinen des Oberen Buntsandstein (*so2-so3*) verfiltert. Der Anhydritspiegel liegt bei etwa 48 m Tiefe und in den darüber liegenden gipshaltigen Tonsteinen traten beim Bau der GWM Spülungsverluste auf, die als Hinweis auf Subrosionsprozesse (Gipskarst) und dadurch bedingte erhöhte Wasserwegsamkeiten interpretiert werden können. Die Druckaufnehmer sind in einer Tiefe von ca. 25 m (Seba) bzw. 30 m (Diver) eingebaut.

Messpunkthöhe	213,58 mNN
Länge Filterstrecke inkl. Unterbrechungen	81 m
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	54 m
Bandbreite der k_f -Werte (Tab. 3.3)	$3,1 \cdot 10^{-8} - 9,5 \cdot 10^{-7}$ m/s
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	0,62 m

Die Süßwasserdruckspiegelhöhe zeigt einen im Vergleich zu den anderen Messstellen sehr ungewöhnlichen, stark gedämpften Verlauf der Ganglinie mit Schwankungen zwischen ca. 190,7 mNN und 193,8 mNN (Abb. 4.51). Maxima der Süßwasserdruckspiegelhöhe treten jeweils im Frühsommer 2003, im Herbst 2008 und im Sommer 2011 auf. Ein ausgeprägtes Minimum der letzten 10 Jahre lag im Jahreswechsel 2007/08. Somit treten Maxima der Ganglinie jeweils mehrere Monate (bis zu 6) nach den überdurchschnittlich niederschlagsreichen Jahren auf. Insgesamt ist der typische Verlauf der Ganglinie der GWM P13 mit den deutlichen mehrjährigen und saisonalen Schwankungen des Wasserspiegels auch in den Jahren vor 2002 bis zum Beginn der Messungen im Jahr 1986 zu beobachten (Abb. B.16 im Anhang).

Über die genannten langfristigen Wasserspiegelschwankungen hinaus weist die Ganglinie – trotz der sehr oberflächennahen Oberkante des oberen Filterrohres – keine Korrelation mit einzelnen Niederschlagsereignissen auf (Abb. 4.52). Dagegen zeigt die hochauflösende Darstellung der Ganglinie eine deutliche Korrelation mit Luftdruckveränderungen, während höherfrequente (z.B. semidiurnale) Schwankungen mit niedriger Amplitude, die auf Einflüsse von Gezeitenkräften hinweisen könnten, nicht zu beobachten sind (nicht gezeigt).

Generell zeigen die Ganglinien beider Druckaufnehmersysteme eine gute Übereinstimmung hinsichtlich des Verlaufs der Süßwasserdruckspiegelhöhe, wenngleich die Ganglinie des Diver-Systems um etwa 5 cm bis 10 cm gegenüber der Ganglinie des Seba-Systems nach unten verschoben ist (Abb. 4.52).

Die Grundwassertemperaturen liegen relativ konstant bei ca. 9,6 °C bis 9,7 °C (Abb. 4.52). Der prominente Abfall der Wassertemperatur auf Werte von 7 °C Anfang Januar 2011, der mit einer Aufspiegelung von etwa 10 cm einher geht, tritt etwa drei Tage nach der Ablesung des Druckauf-



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 118 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

nehmers auf und könnte somit auf Zufluss von kalten Oberflächenwasser während der Schneeschmelze hindeuten.

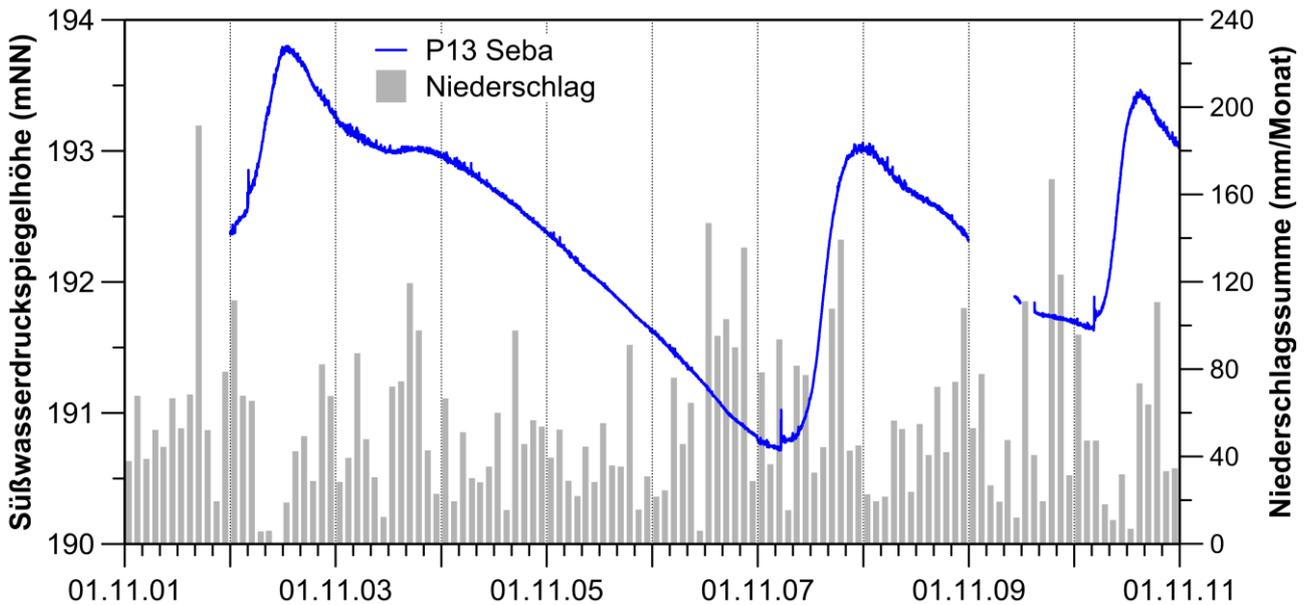


Abb. 4.51: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM P13 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).

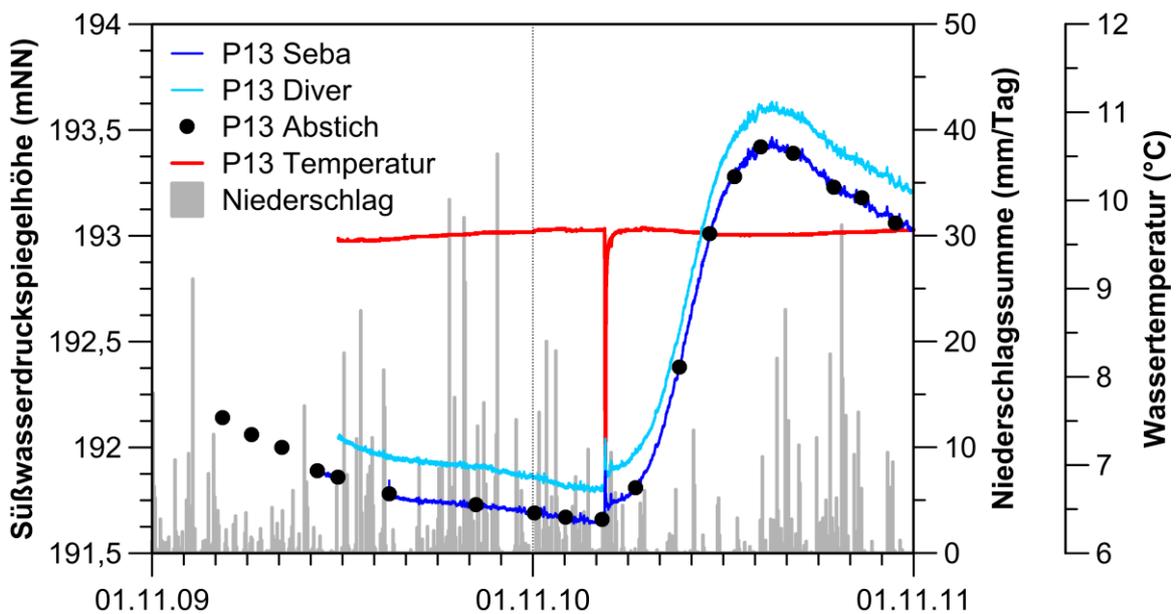


Abb. 4.52: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P13 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 119 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

4.2.3 Keuper

GWM P17 (*km*, NE-Flanke)

Die GWM P17 ist in der Nordostflanke, etwa 800 m westlich von Mönchevahlberg positioniert. Ihre von 10 m bis 58 m unter den Messpunkt reichende Filterstrecke erschließt die z.T. gipsführenden Ton- und Siltsteine des Mittleren Keuper (*km1*). Der Diver-Druckaufnehmer wurde im Juni 2010 in einer Tiefe von ca. 50 m eingebaut; für den Zeitraum davor liegen keine Messwerte vor.

Messpunkthöhe	133,09 mNN
Länge Filterstrecke	48 m
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	34 m
k_f -Wert (Tab. 3.3)	$1,4 \cdot 10^{-6}$ m/s
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	0,8 m

Die Daten des Diver-Druckaufnehmers zeigen seit Beginn der Messungen im Juni 2010 einen gedämpften Verlauf mit einem ausgeprägten Jahresgang, der Schwankungen zwischen 115,6 mNN bis 118,7 mNN aufweist (Abb. 4.53). Dieser Jahresgang ist charakterisiert durch einen stufenweisen Anstieg beginnenden im Herbst und gefolgt von einer deutlichen Reaktion auf die Schneeschmelze im Januar 2011, worauf dann bis zum Oktober 2011 ein langfristiger stetiger Abfall der Süßwasserdruckspiegelhöhe zu beobachten ist. Eine Reaktion auf einzelne Niederschlagsereignisse ist im Beobachtungszeitraum nur bei den intensiven Regenfällen Ende September 2010 zu beobachten (Abb. 4.53). Weiterhin zeigt die Ganglinie eine gute Korrelation mit Luftdruckschwankungen, während höherfrequente (z.B. semidiurnale) Schwankungen mit niedriger Amplitude, die auf Einflüsse von Gezeitenkräften hinweisen könnten, nicht zu beobachten sind (jeweils nicht gezeigt).

Die Ganglinie der Grundwassertemperatur zeigt einen stetigen Anstieg von 10,55 °C auf 10,75 °C seit Beginn der Messungen mit dem Diver-Druckaufnehmer (Abb. 4.53).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 120 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

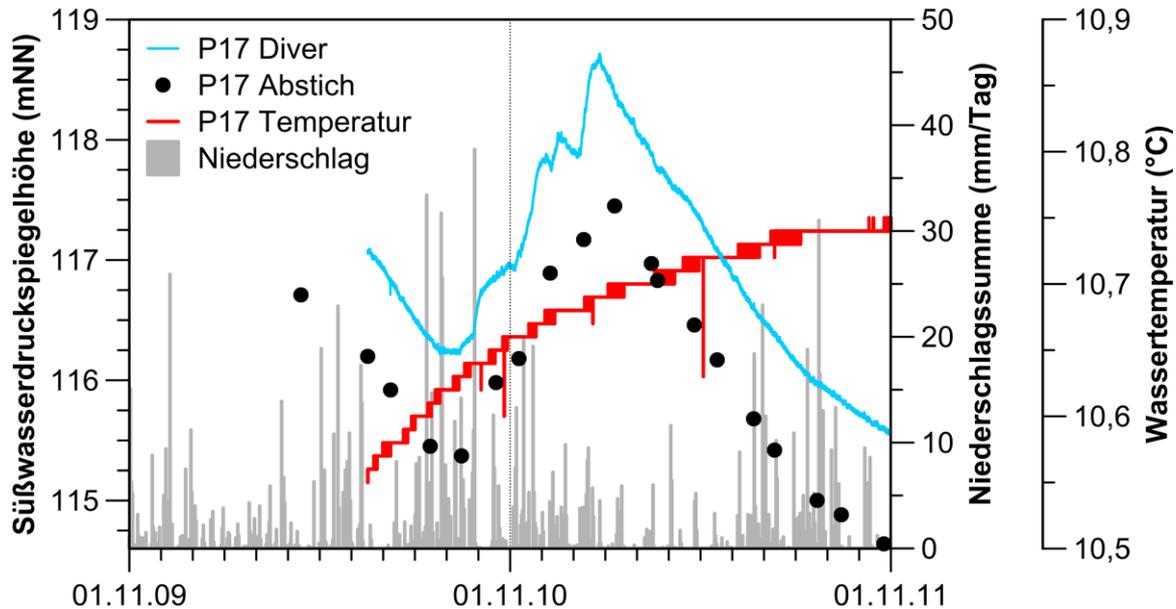


Abb. 4.53: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P17 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).

GWM P9 (km, SW-Flanke)

Die GWM P9 ist auf der Südwest-Flanke etwa 600 m südöstlich von Schacht Asse 2 gelegen. Sie erschließt die mit 70° einfallenden Tonsteine des Mittleren Keuper (km), die oberflächennah im Bereich der Filterrohre aber auch geringmächtige Kalksteinbänke aufweisen (zwischen 4,3 m und 5,6 m Tiefe). Ihre Filterstrecke erstreckt sich von 4 m unter dem Messpunkt bis zur maximalen Ausbautiefe von 20 m. Die Druckaufnehmer sind in einer Tiefe von ca. 7 m (Seba) bzw. 10 m (Diver) eingebaut.

Messpunkthöhe	164,12 mNN
Länge Filterstrecke	16 m
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	12 m
Bandbreite der k_f -Werte	keine Daten
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	Süßwasser

Die Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe weist für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 einen sehr unruhigen Verlauf mit deutlich ausgeprägten saisonalen Schwankungen von maximal 3 m bis 3,5 m (zwischen 160,5 mNN bis 164 mNN) auf, während mehrjährige Schwankungen nur untergeordnet zu beobachten sind (Abb. 4.54). Typisch für den Verlauf der Ganglinie sind ein Spätwinter- bzw. Frühjahrsmaximum, das unmittelbar mit der Schneeschmelze einsetzt, sowie ein stetiger Abfall zu einem Minimum zum Ende des Jahres. Zudem treten häufig kurzfristige starken Aufspiegelungen nach Niederschlagsereignissen um 0,5 m bis 1 m auf (Abb. 4.55). Insgesamt ist der typische Verlauf der Ganglinie der GWM P9 mit den deutlichen saisonalen Schwankungen des



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 121 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Wasserspiegels auch in den Jahren vor 2002 bis zum Beginn der Messungen im Jahr 1987 zu beobachten (Abb. B.16 im Anhang).

Die hochauflösende Darstellung der Ganglinie der GWM P9 in (Abb. 4.55) zeigt eine gute Korrelation mit Luftdruckveränderungen (nicht gezeigt), während höherfrequente (z.B. semidiurnale) Schwankungen mit niedriger Amplitude, die auf Einflüsse von Gezeitenkräften hinweisen könnten, nicht zu beobachten sind.

Insgesamt zeigen die Ganglinien beider Druckaufnehmersysteme eine gute Übereinstimmung hinsichtlich des Verlaufs der Süßwasserdruckspiegelhöhe (Abb. 4.55), wengleich die Ganglinie des Diver-Systems um etwa 5 cm bis 10 cm über der Ganglinie des Seba-Systems liegt. Die Grundwassertemperatur liegt zwischen 9,45 °C bis 9,6 °C für das kurze Messintervall vom März bis Oktober 2011 (Abb. 4.55).

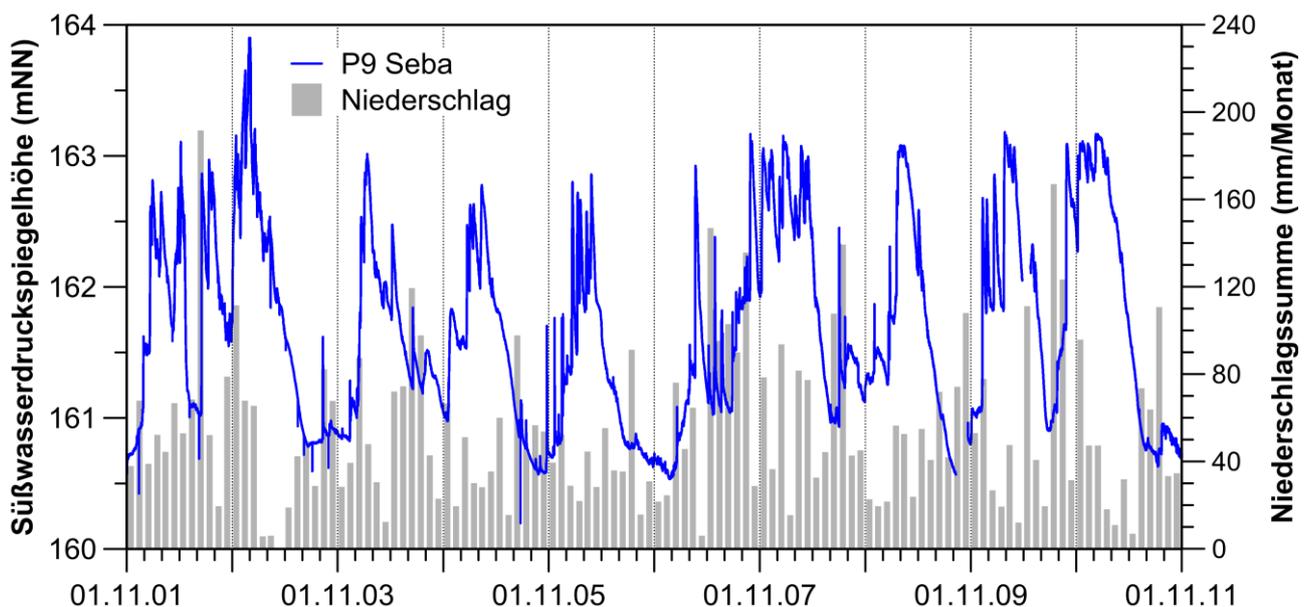


Abb. 4.54: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM P9 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 122 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

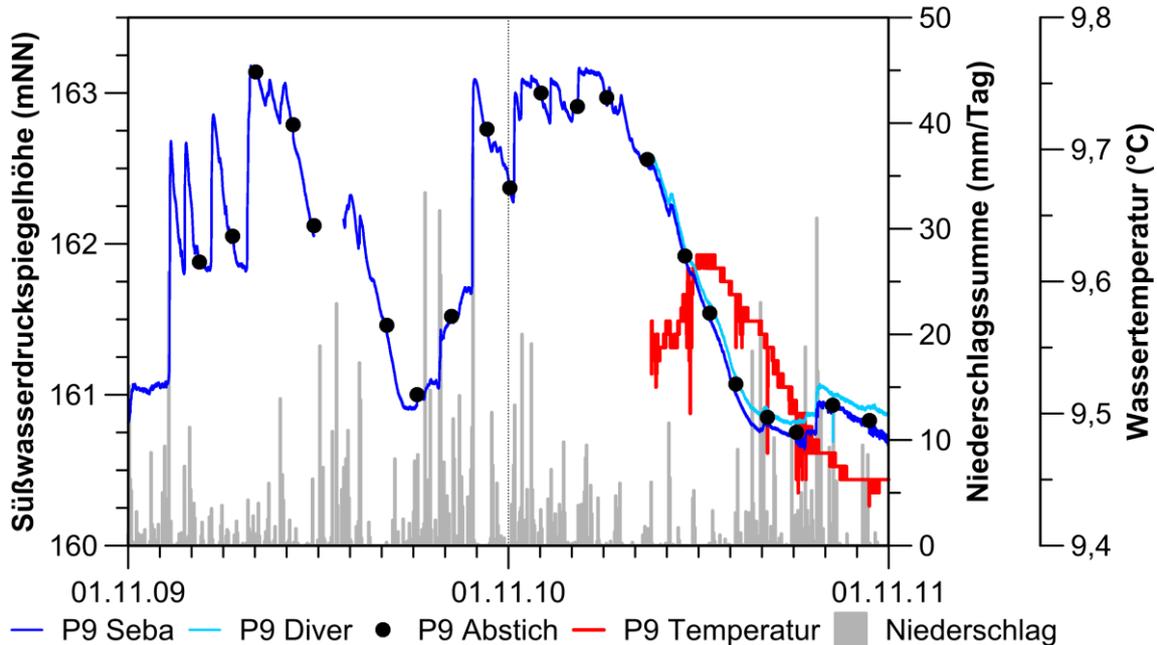


Abb. 4.55: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P9 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).

GWM P15 (ko, SW-Flanke)

Die GWM P15 ist in der Südwest-Flanke ca. 180 m südwestlich der GWM P9 und etwa 760 m südöstlich von Schacht Asse 2 gelegen. Sie wurde ab einer Tiefe von 12 m bis zur maximalen Ausbautiefe von 42 m unter dem Messpunkt durchgängig in den feinsandigen Schichten des Oberen Keuper (ko) verfiltert, wobei der wirksame Bereich des Filterrohrs durch eine Kiesverfüllung nach oben bis auf ca. 7 m und nach unten bis auf eine Tiefe von 46 m verlängert wird. Die beiden Druckaufnehmer sind in einer Tiefe von ca. 37 m (Seba) bzw. 43 m (Diver) eingebaut.

Messpunkthöhe	159,82 mNN
Länge Filterstrecke	30 m
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	27 m
Bandbreite der k_f -Werte (Tab. 3.3)	$1,9 \cdot 10^{-12} - 1,7 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	Süßwasser

Der gedämpfte Verlauf der Süßwasserdruckspiegelhöhe in GWM P15 zeigt mehrjährige sowie saisonale Schwankungen (Abb. 4.56). Der langjährige Verlauf kann dabei als Abfolge von niederschlagsreichen (2002, 2007/08) bzw. niederschlagsarmen (2003, 2005/06) Jahren interpretiert werden, der sich in dieser GWM mit einer Phasenverschiebung von etwa einem Jahr zeigt. Insgesamt ist der typische Verlauf der Ganglinie der GWM P15 mit den deutlichen mehrjährigen und saisonalen Schwankungen des Wasserspiegels auch in den Jahren vor 2002 bis zum Beginn der Messungen im Jahr 1981 zu beobachten (Abb. B.17 im Anhang).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 123 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Eine Korrelation der Wasserspiegelganglinie der GWM P15 mit einzelnen Niederschlagsereignissen ist nicht zu beobachten (Abb. 4.57). Allerdings zeigt sich ein deutlicher Einfluss von Luftdruckschwankungen, während eine Korrelation mit Änderungen der Gezeitenkräfte nicht ersichtlich ist (jeweils nicht gezeigt).

Generell weisen die Ganglinien beider Druckaufnehmersysteme eine gute Übereinstimmung hinsichtlich des Verlaufs der Süßwasserdruckspiegelhöhe auf, wenngleich die Ganglinie des Diver-Systems um etwa 20 cm gegenüber dem Seba-System nach unten verschoben ist (Abb. 4.57). Die in Abb. 4.56 sichtbaren starke kurzfristige Schwankungen der Druckhöhe des Seba-Systems werden durch mehrere Ausfälle der Druckaufnehmer, bzw. vertikale Verschiebungen der Druckaufnehmerposition verursacht. Die Grundwassertemperatur liegt für das kurze Messintervall vom März bis Oktober 2011 zwischen ca. 9,5 °C bis 9,6 °C (Abb. 4.57).

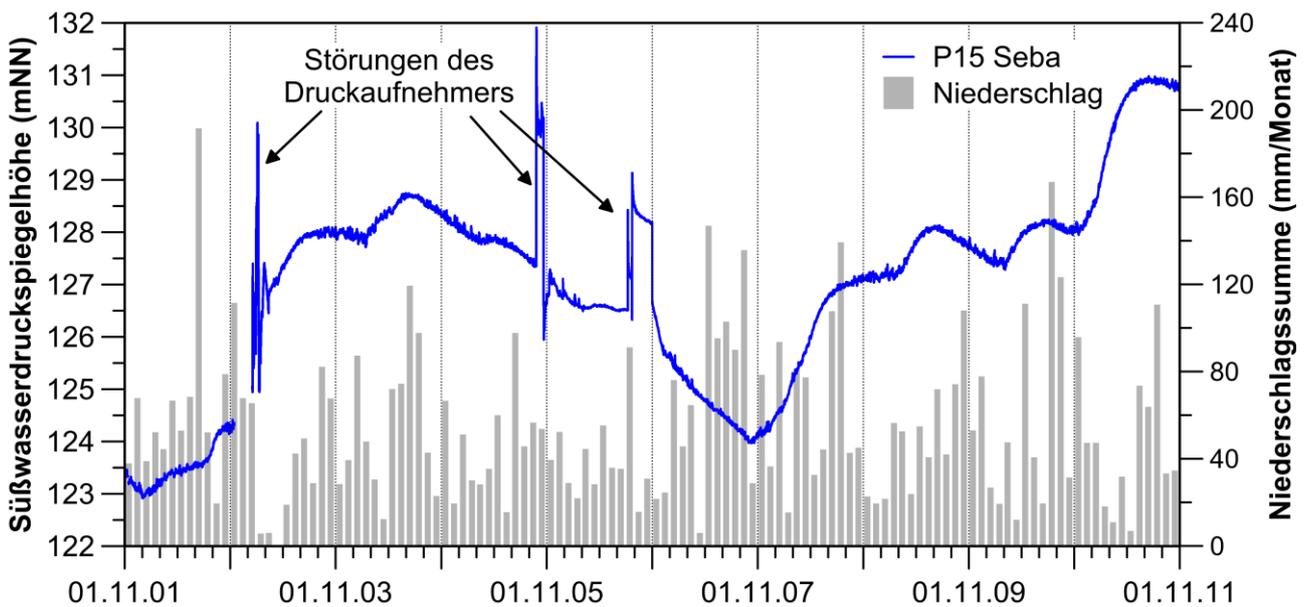


Abb. 4.56: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM P15 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 124 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

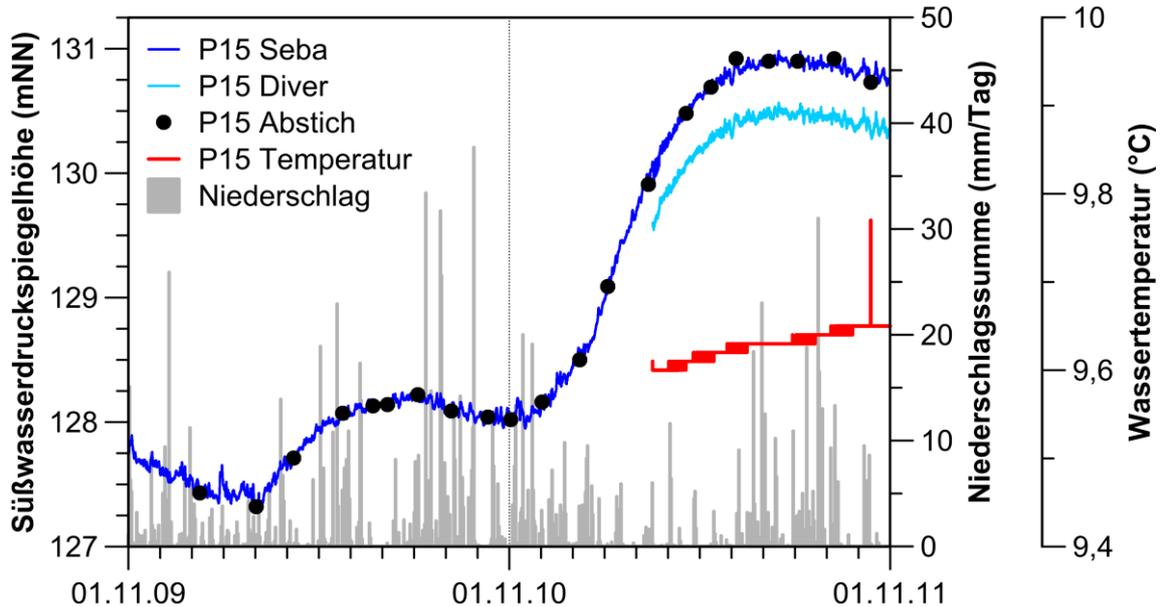


Abb. 4.57: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P15 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).

4.2.4 Jura

GWM H7 (ju, SW-Flanke)

Die GWM H7 liegt in der Südwest-Flanke der Asse-Struktur am nördlichen Ortsrand von Remlingen, etwa 1,5 km südöstlich von Schacht Asse 2. Sie besitzt eine zweifach unterteilte, von ca. 3,4 m bis zu einer Tiefe von 28,4 m reichende Filterstrecke, wobei der wirksame Bereich des unteren Filterrohrs durch eine Kiesverfüllung nach unten bis auf eine Tiefe von 43 m unter den Ansatzpunkt verlängert wird. Mit dieser Messstelle werden die Mergelsteine des Lias (*ju*) bis in eine Tiefe von ca. 37,5 m, sowie Tonsteine mit Kalksteinlagen bis in etwa 43 m Tiefe erschlossen. Der Diver-Druckaufnehmer ist in einer Tiefe von ca. 20 m unter dem Ansatzpunkt im Bereich des mittleren Filterrohrs positioniert.

Messpunkthöhe	145,62 mNN
Länge Filterstrecke inkl. Unterbrechungen	25 m
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	15,9 m
Bandbreite der k_f -Werte (Tab. 3.3)	$6,6 \cdot 10^{-7} - 1,5 \cdot 10^{-4}$ m/s
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	Süßwasser

Die vorliegenden Daten seit Oktober 2010 (nur Diver-Druckaufnehmer verbaut) zeigen für das betrachtete Jahr eine Schwankungsbreite der Süßwasserdruckspiegelhöhe der GWM H7 von etwa 2 m, d.h. zwischen ca. 144,5 mNN und 146,5 mNN (Abb. 4.58). Die vorliegenden Werte liegen



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 125 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

somit z.T. über der Messpunkthöhe und entsprechen somit artesischen Verhältnissen. Möglicherweise liegt hier ein falscher Wert für die Einbautiefe (20 m?) des Diver-Druckaufnehmers vor, auf die auch die deutlich (bis zu 0,5 m) tiefer liegenden Abstichhöhen hinweisen könnten (vgl. dazu auch Kap. 4.8).

Insgesamt weist die Ganglinie der GWM H7 eine typische saisonale Variation der Süßwasserdruckspiegelhöhe auf, mit einem Maximum im Winter (November-Februar). Auf dieses Maximum folgt ein langsamer, gradueller Abfall hin zu einem ausgeprägten Spätsommer-/Herbstminimum. Zudem zeigt sich eine unmittelbare und deutliche Reaktion der Süßwasserdruckspiegelhöhe auf starke Niederschlagsereignisse. Der Vergleich der Ganglinie des Diver-Druckaufnehmers mit der Ganglinie des Luftdrucks und der Gezeitenkräfte zeigt jeweils keine deutliche Reaktion.

Die Grundwassertemperaturen in der GWM H7 liegen zwischen ca. 9,8 °C bis 9,9 °C und weisen somit nur eine sehr geringe Variabilität auf (Abb. 4.58).

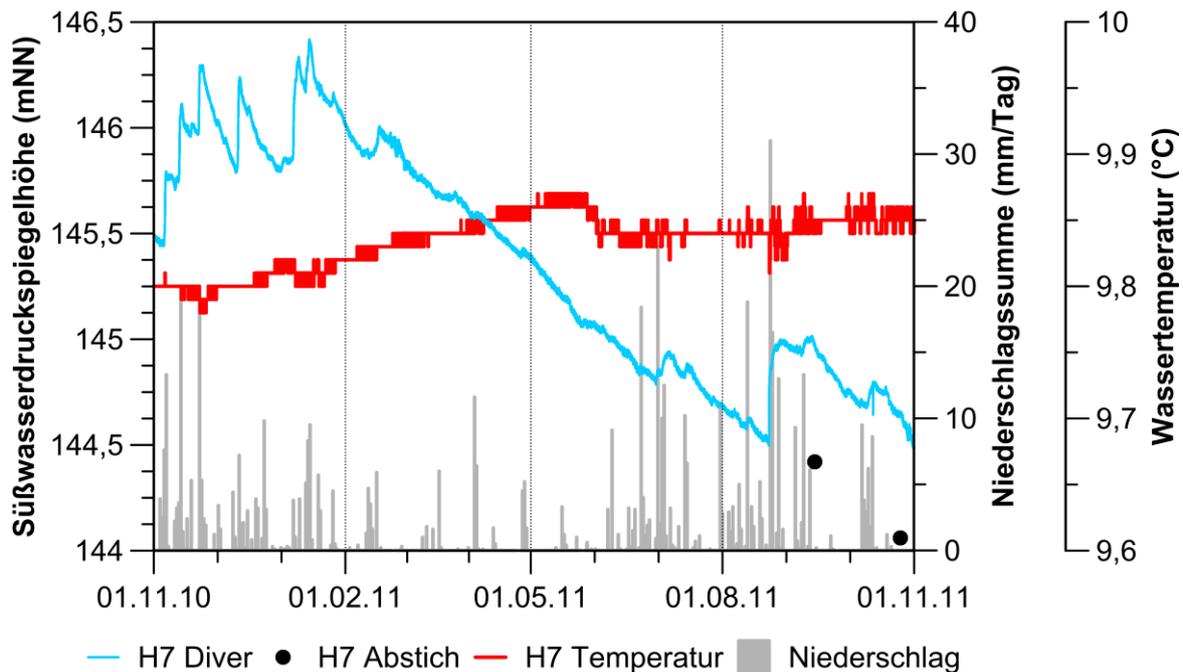


Abb. 4.58: Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H7 mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2011).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 126 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

GWM H9 (*ju*, SW-Flanke)

Die GWM H9 ist in der Südwest-Flanke der Asse-Struktur, etwa 500 m südöstlich der Ortschaft Wittmar gelegen. Ihre sich von ca. 20,2 m bis 52,7 m Tiefe unter dem Ansatzpunkt befindende Filterstrecke erschließt Gesteine des Untere Jura (*ju*), der hier i.W. aus Tonsteinen mit eingelagerten geringmächtigen Kalkbänken besteht. Die beiden Druckaufnehmer sind in eine Tiefe von 12 m (Seba) bzw. 20 m (Diver) eingebaut.

Messpunkthöhe	145,10 mNN
Länge Filterstrecke	32,5 m
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	36,5 m
Bandbreite der k_f -Werte (Tab. 3.3)	$3,1 \cdot 10^{-8} - 4 \cdot 10^{-6}$ m/s
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	0,13 m

Die Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe der GWM H9 zeigt für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 eine maximale Schwankungsbreite von etwa 3 m, d.h. zwischen ca. 135,6 mNN und 138,7 mNN (Abb. 4.59). Damit liegt die Druckspiegelhöhe ca. 7 m bis 10 m unter dem Messpunkt. Generell zeigt die Ganglinie einen gedämpften, sinusförmigen Jahresgang mit ausgeprägten Maxima im Sommer und Minima in den Wintermonaten Dezember und Januar. Insgesamt ist der typische Verlauf der Ganglinie der GWM H9 mit den deutlichen mehrjährigen und saisonalen Schwankungen des Wasserspiegels auch in den Jahren vor 2002 bis zum Beginn der Messungen im Jahr 1982 zu beobachten (Abb. B.18 im Anhang).

Weiterhin zeigt sich in der Ganglinie der GWM H9 eine deutliche Reaktion auf Schneeschmelz-, aber praktisch keine Reaktion auf Niederschlagsereignisse. Hervorzuheben ist die Reaktion auf das Wasserspiegelabfallereignis in Schacht Asse 1 im Januar 2011, das sich mit ca. zwei Tagen Verzögerung deutlich in der Ganglinie des Seba-Druckaufnehmers zeigt (Anstieg ca. 10 cm), während es in der Ganglinie des Diver-Druckaufnehmers nicht zu beobachten ist (Abb. 4.61). Eine Korrelation der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe mit Luftdruckveränderungen oder Änderungen der Gezeitenbeschleunigung ist nicht ersichtlich (nicht gezeigt).

Im Vergleich zum Diver-Druckaufnehmer besitzt die Ganglinie des Seba-Druckaufnehmers in der GWM H9 einen deutlich unruhigeren Verlauf mit hochfrequenten Anteilen, die beim Diver-System nicht zu erkennen sind (Abb. 4.60). Weiterhin ergeben sich zeitweilig deutliche Abweichungen von etwa 20 cm bis 30 cm zwischen den Ganglinien der beiden Druckaufnehmer. Die seit Juli 2010 vorliegenden Grundwassertemperaturen in der GWM H9 zeigen einen langsamen graduellen Anstieg bis zum Ende des hydrologischen Jahres 2011 von etwa 9,45 °C bis zu 9,65 °C (Abb. 4.60).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 127 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

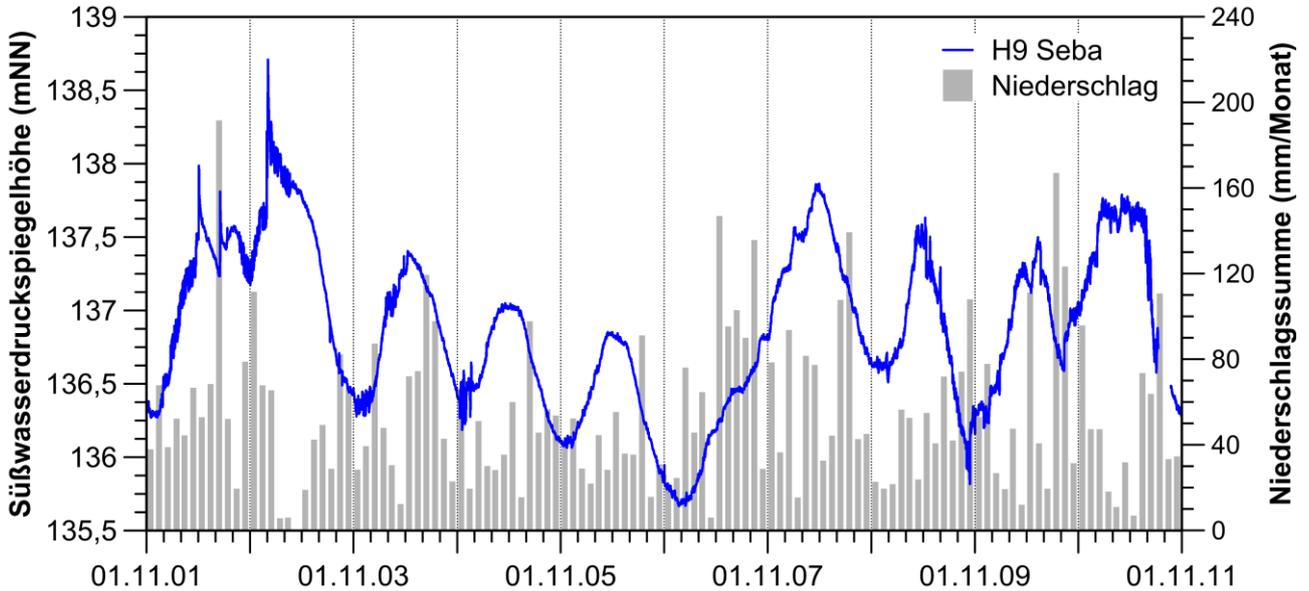


Abb. 4.59: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H9 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).

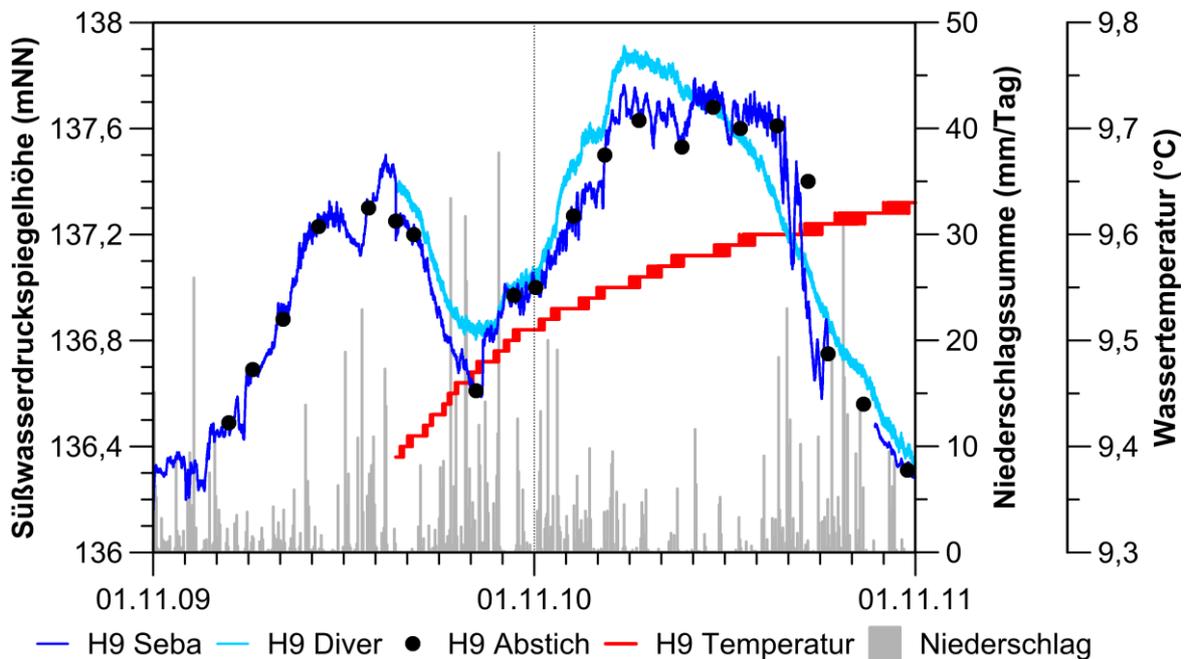


Abb. 4.60: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H9 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 128 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

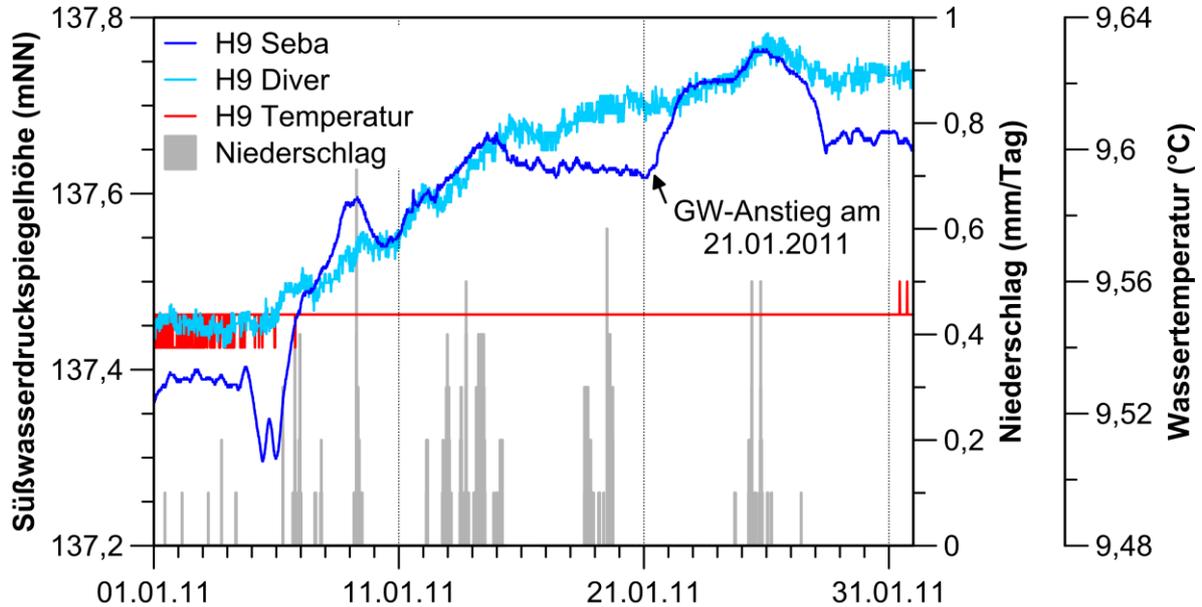


Abb. 4.61: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H9 zusammen den Niederschlagssummen während des Wasserspiegelabfallereignisses in Schacht Asse 1 im Januar 2011.

4.2.5 Residuales Zechsteinsalinar (Hutgestein)

GWM H5 (so, z3r, Scheitelpbereich der Asse-Struktur)

Die GWM H5 liegt wenige 10er-Meter südlich der Groß Vahlberger Störung etwas südlich der Straße von Remlingen nach Groß Vahlberg. Sie weist eine Ausbautiefe von 146 m unter dem Messpunkt auf und besitzt eine durch kurze Vollrohre (<0,5 m Länge) dreifach unterteilte, von ca. 7 m bis 121 m unter Ansatzpunkt reichende Filterstrecke auf; diese wird jedoch hydraulisch durch eine Filterkiesfüllung bis zum Bohrloch tiefsten in 139 m unter dem Ansatzpunkt verlängert. Damit erschließt diese Messstelle vom Hangenden zum Liegenden tonreiche Gips- und Anhydritlagen des Oberen Buntsandstein und des residualen Zechsteinsalinar. Die beiden Druckaufnehmer sind in einer Tiefe zwischen 15 m und 20 m unter dem Ansatzpunkt, im Bereich der obersten Filterstrecke positioniert.

Messpunkthöhe	188,21 mNN
Länge Filterstrecke inkl. Unterbrechungen	108 m
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	63,5 m
k_f -Wert (Tab. 3.3)	$4 \cdot 10^{-8}$ m/s
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	7,96 m



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 129 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die Schwankungsbreite der Süßwasserdruckspiegelhöhe der GWM H5 liegt für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 im Bereich von etwa 2 m, d.h. zwischen ca. 183,5 mNN und 185,5 mNN (Abb. 4.62). Die Ganglinie zeigt mehrjährige Schwankungen sowie ausgeprägte saisonale Variationen mit hohem Grundwasserspiegel im Spätwinter/Frühjahr und einem sommerlich-herbstlichem langsamen Abfall zu einem Minimum in den Monaten November/Dezember. Dazu kommen kurzfristige Schwankungen, v.a. im Sommer. Nach den überdurchschnittlich niederschlagsreichen Jahren 2002 und 2007/08 zeigen die winterlichen Hochlagen jeweils eine deutlich höhere Amplitude als in den übrigen Jahren. Unmittelbare Reaktionen auf Niederschläge sind nur bei sehr starken oder intensiven Ereignissen zu beobachten (Abb. 4.63). Insgesamt ist der typische Verlauf der Ganglinie der GWM H5 mit den deutlichen mehrjährigen und saisonalen Schwankungen des Wasserspiegels auch in den Jahren vor 2002 seit zum Beginn der Messungen im Jahr 1972 zu beobachten (Abb. B.19 im Anhang).

Der Vergleich der Ganglinie des Diver-Druckaufnehmers mit den Ganglinien des Luftdrucks und der Gezeitenkräfte zeigt jeweils keine deutliche Reaktion der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H5 (nicht gezeigt).

Der Verlauf der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe des Diver-Druckaufnehmers zeigt generell eine gute Übereinstimmung mit der Ganglinie des Seba-Druckaufnehmers, wenngleich die Druckspiegelhöhen zeitweilig (z.B. von November 2010 bis Januar 2011) deutliche Abweichungen bis zu 40 cm und zudem auch unterschiedliche zeitliche Variabilität zeigen (Abb. 4.63). Ab Mitte Mai 2011 zeigt der Diver-Druckaufnehmer eine auf ca. 15 cm zunehmende Abweichung der Süßwasserdruckspiegelhöhe vom Seba-Druckaufnehmer und der monatlichen Abstichmessung. Die Grundwassertemperatur in der GWM H5 zeigt einen leichten Anstieg von 9,95 °C seit Beginn der Messungen im Juni 2010 auf 10,15 °C im März-April 2011, gefolgt von einem minimalen Abfall auf ca. 10,05 °C bis zum Ende der Messperiode im Winter 2011 (Abb. 4.63).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 130 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

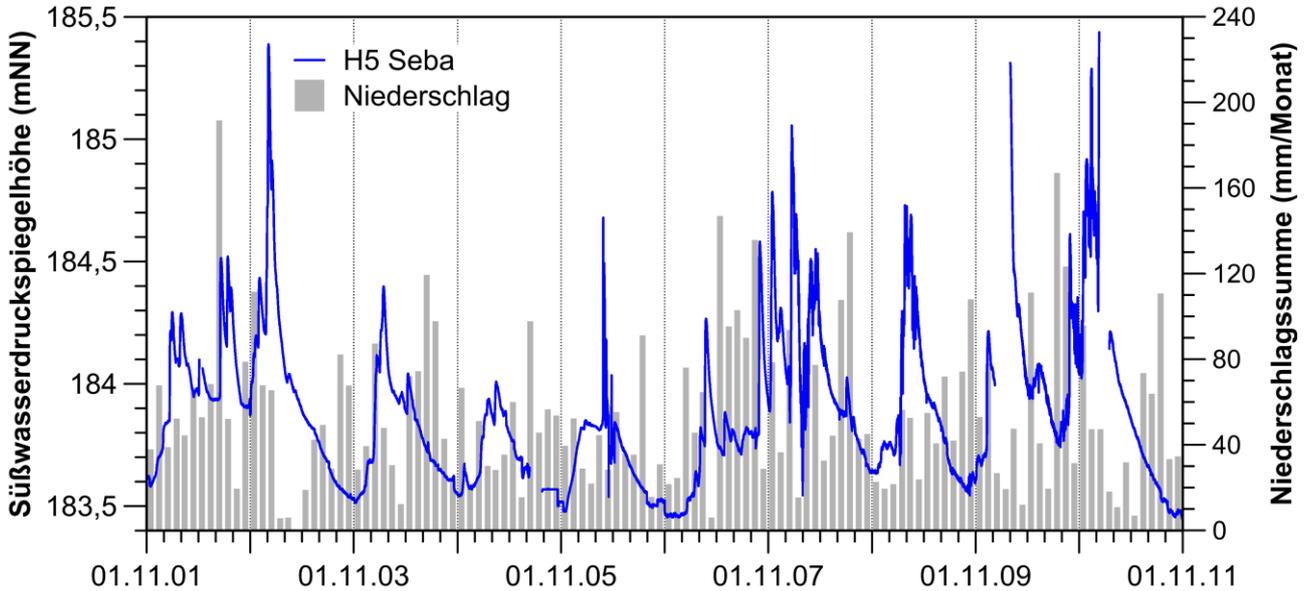


Abb. 4.62: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H5 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).

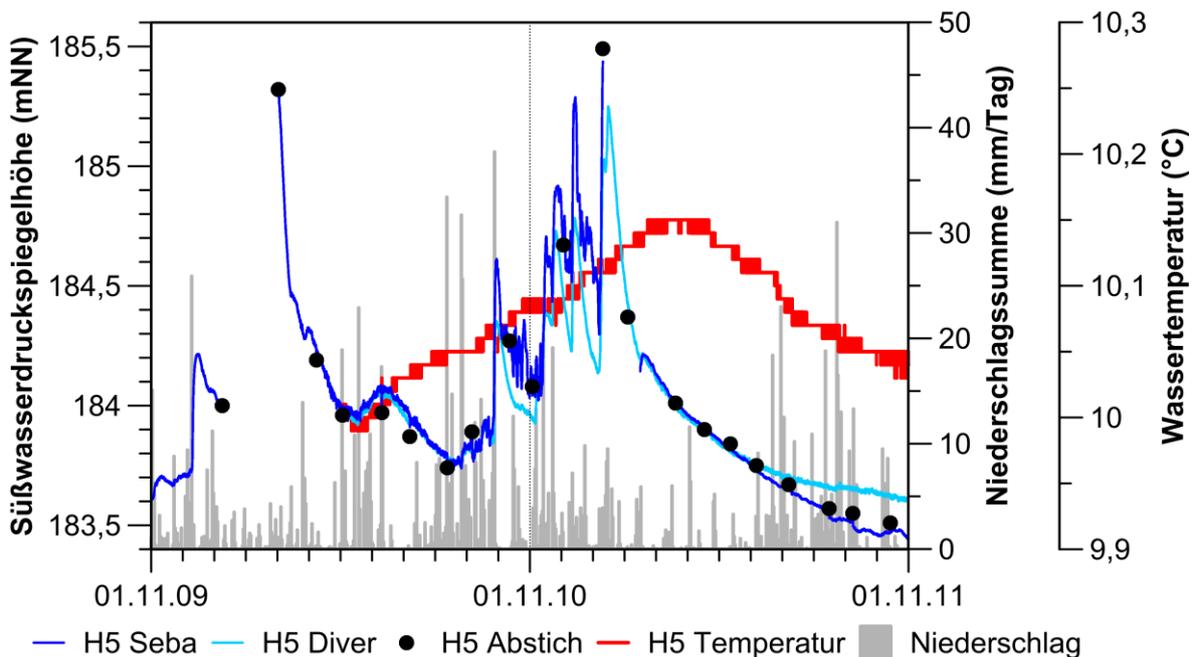


Abb. 4.63: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H5 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).

 Bundesamt für Strahlenschutz				Sachstandsbericht Hydrogeologie			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 131 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

4.2.6 Subrosionsgerinne am Salzspiegel

GWM H17 (*Subrosionsgerinne, Scheitelbereich der Asse-Struktur*)

Die GWM H17 liegt etwa 310 m südöstlich von Schacht Asse 1 und etwa 1050 m nordwestlich von Schacht Asse 2 im verstürzten Deckgebirge im Scheitel der Asse-Struktur. Sie erschließt mit ihrem 17,5 m langen Filterrohr ein Subrosionsgerinne am Salzspiegel. Die beiden Druckaufnehmer sind in eine Tiefe von ca. 52 m (Seba) bzw. 57 m (Diver) eingebaut.

Messpunkthöhe	173,32 mNN
Länge Filterstrecke	17,5 m
Zentrum Filterstrecke unter Messpunkthöhe	232,5 m
Bandbreite der k_f -Werte (Tab. 3.3)	$2 \cdot 10^{-7} - 2,7 \cdot 10^{-8}^{(1)}$
Dichtekorrekturterm (Tab. 4.1)	4,27 m

⁽¹⁾ Werte nicht belastbar (wegen Fließgeometrie und Heterogenität zu unsicher).

Die Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe zeigt für den Zeitraum der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 ausgeprägte mehrjährige und saisonale Schwankungen von etwa max. 3,3 m, d.h. im Bereich von 130,6 mNN bis 133,9 mNN (Abb. 4.64). Maxima treten vorwiegend im Winter bis z.T. Frühsommer auf. Danach erfolgt ein stetiger Abfall der Süßwasserdruckspiegelhöhe zum Winterminimum im November-Dezember. Insgesamt ist der typische Verlauf der Ganglinie der GWM H17 mit den deutlichen mehrjährigen und saisonalen Schwankungen des Wasserspiegels auch in den Jahren vor 2002 bis zum Beginn der Messungen im Jahr 1977 zu beobachten (Abb. B.20 im Anhang). Kurzfristige Wasserspiegelabfälle in den Jahren 1980 sowie 1985 und 1989 sind durch Pumpversuche und Probennahmen bedingt (Abb. B.20). Darüber hinaus zeigt Abb. B.20 seit Beginn der Messungen einen langfristigen fallenden Trend der Süßwasserdruckspiegelhöhe, der auch für den Zeitraum 2002 bis 2011 nachweisbar ist (vgl. Kap. 4.4).

Während eine unmittelbare Reaktion auf einzelne Niederschlagsereignisse nicht zu beobachten ist, zeigen sich deutliche Reaktionen auf die beiden Wasserspiegelabfallereignisse in Schacht Asse 1. So reagierte diese Messstelle während dem Ereignis in Schacht Asse 1 am 15.02.2002 mit einer unmittelbaren Aufspiegelung um ca. 70 cm (Abb. 4.65), während in Folge des Ereignisses am 19.01.2011 eine Aufspiegelung um ca. einen Meter zu beobachten ist (Abb. 4.66). Weiterhin zeigt die hochauflösende Darstellung der Ganglinie visuell eine deutliche Reaktion der Süßwasserdruckspiegelhöhe auf Luftdruckveränderungen (Abb. 4.67), während Änderungen der Gezeitenkräfte keine Auswirkungen zu haben scheinen (nicht gezeigt).

Insgesamt zeigen die Ganglinien beider Druckaufnehmersysteme eine gute Übereinstimmung hinsichtlich des Verlaufs der Süßwasserdruckspiegelhöhe, wenngleich die Ganglinie des Diver-Systems um etwa 20 cm gegenüber dem Seba-System nach oben verschoben ist (Abb. 4.65). Ungewöhnlich ist auch der starke Anstieg der Druckspiegelhöhe im September 2011 der durch das Seba-System und durch die Abstiche, aber nicht durch das Diver-System angezeigt wird. Die Grundwassertemperatur in der GWM H17 weist einen geringen graduellen Anstieg in den Jahren



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 132 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

2010 und 2011 von ca. 10,85 °C bis 11,05 °C auf (Abb. 4.65), weitere Trends oder kurzzeitige Temperaturschwankungen (z.B. während der Aufspiegelung am 19.01.2011) sind nicht zu beobachten.

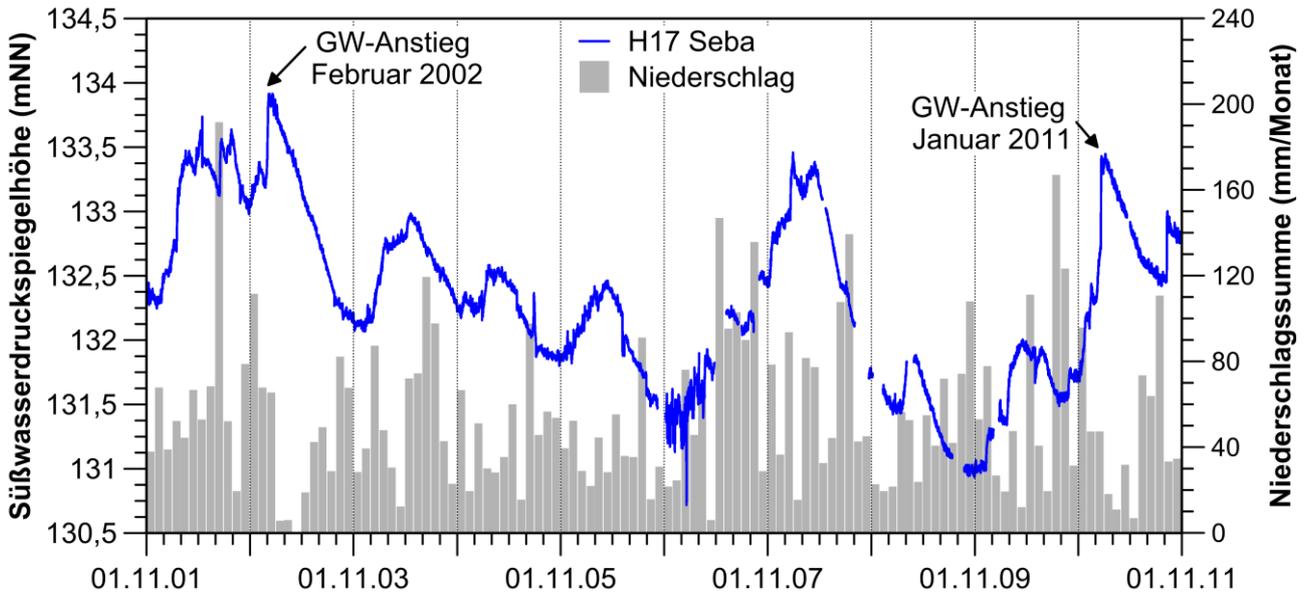


Abb. 4.64: 10-jährige Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H17 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2002-2011).

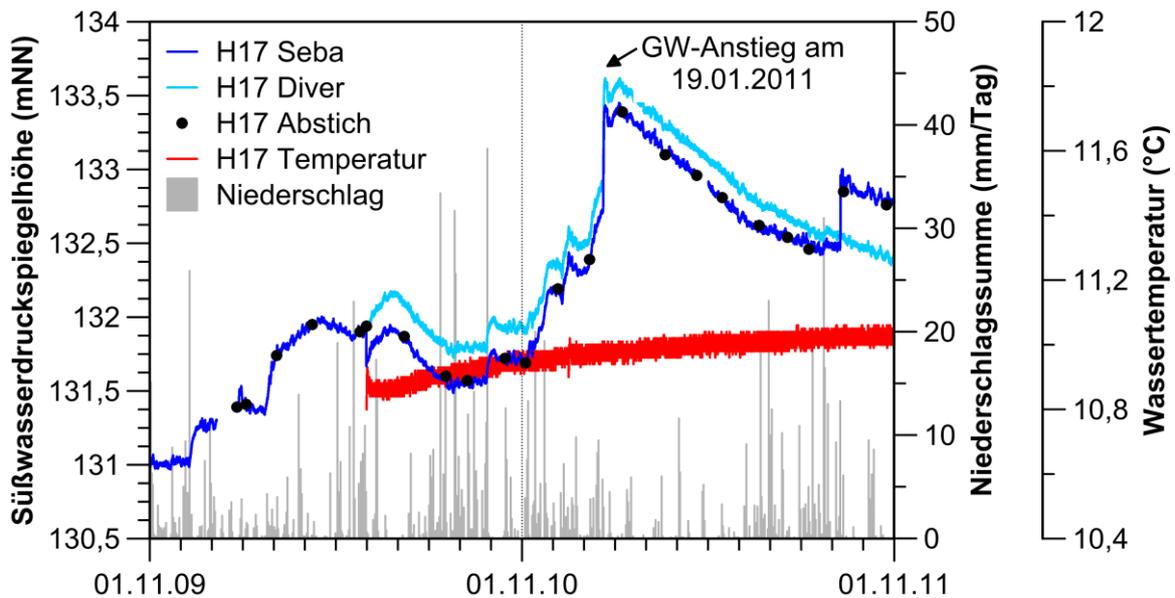


Abb. 4.65: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H17 mit den Niederschlagssummen (hydrologische Jahre 2010 und 2011).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 133 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

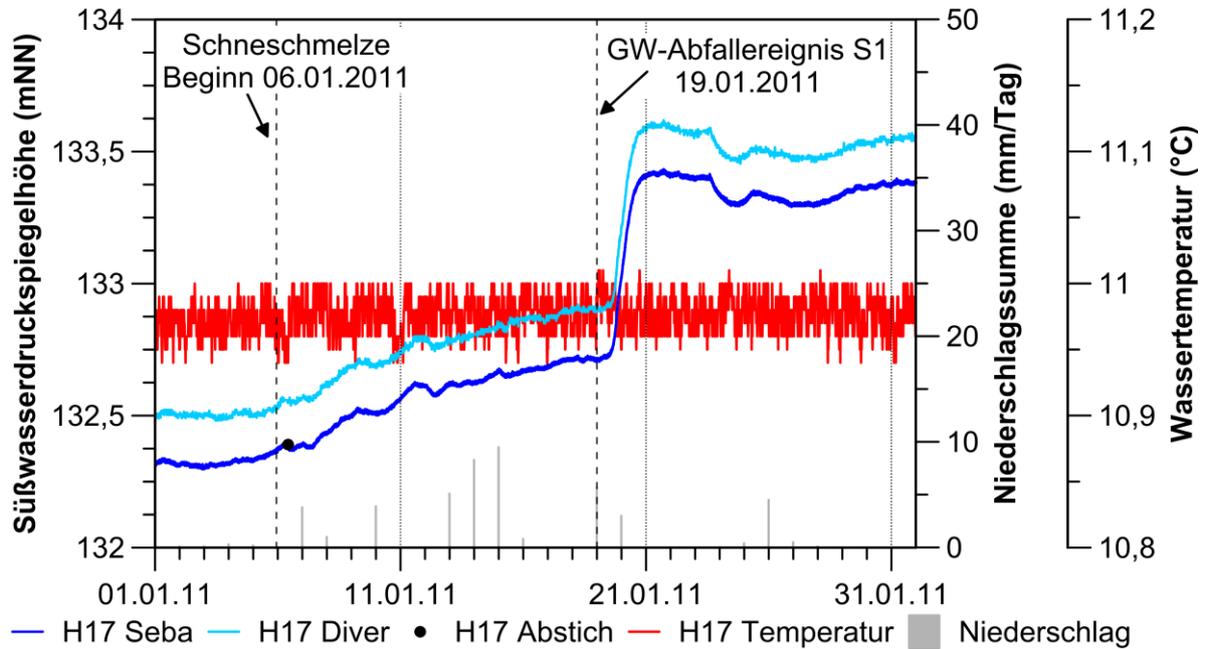


Abb. 4.66: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H17 im Monat Januar 2011 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.

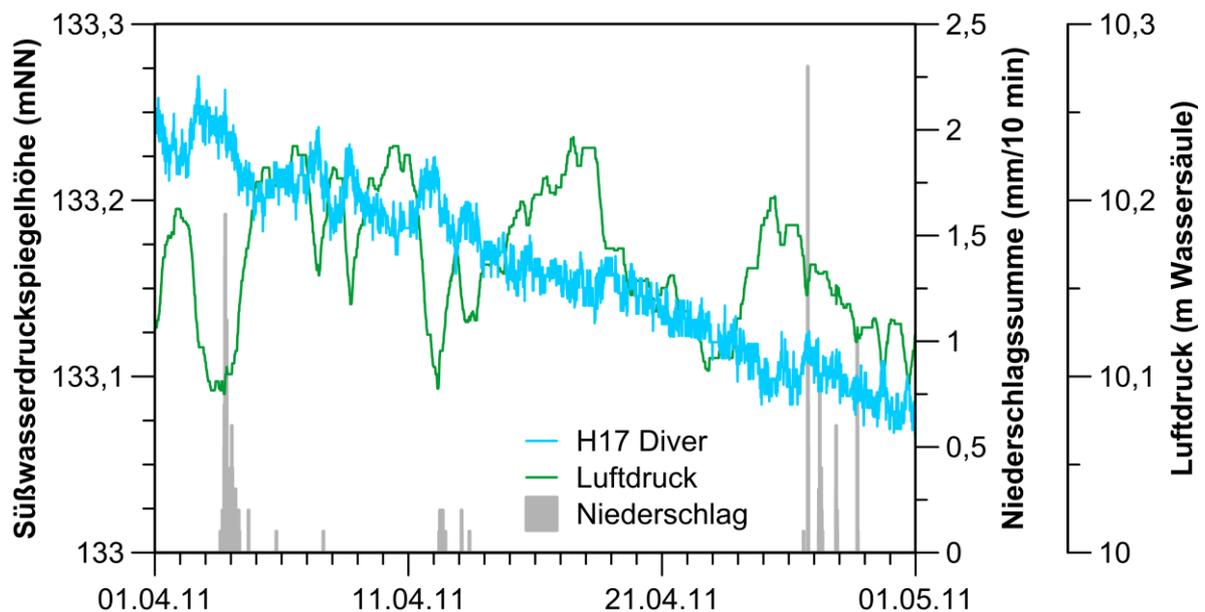


Abb. 4.67: Vergleich der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H17 im Monat April 2011 mit den Niederschlagssummen und dem Luftdruck.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 134 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

4.3 EINFLUSSFAKTOREN UND EXTREMWERTE

Das Ziel dieses Kapitels ist die zusammenfassende Charakterisierung der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Ganglinien, die Darstellung des Ganglinienverlaufs in Bezug auf die erschlossene stratigraphische Einheit sowie die Dokumentation von Extremwerten und langfristigen Trends.

4.3.1 Einflussfaktoren auf die Ganglinien

Die Ergebnisse der visuellen Analyse der Grundwasserganglinien der hydrogeologischen Messstellen des Asse-Höhenzuges sind in Tab. 4.4 zusammengefasst. Es zeigt sich, dass die Ganglinien der meisten Messstellen Korrelationen mit (i) den saisonalen Variationen des Niederschlags und der Schneeschmelze, (ii) mehrjährigen Veränderungen der Niederschlagshöhen als Folge von überdurchschnittlich niederschlagsarmen bzw. -reichen Jahren sowie (iii) – in Ausnahmen – einzelnen Niederschlagsereignissen aufweisen.

Mehr als die Hälfte der Messstellen im hydrogeologischen Messnetz weist zudem visuell eine Korrelation mit Luftdruckänderungen auf. Für fünf Messstellen zeigt sich möglicherweise ein Einfluss der Gezeitenbeschleunigung. Einzig die Ganglinien der GWM R5 und R7 zeigen keine Korrelation mit den genannten Einflussfaktoren.

Neben diesen meteorologisch bzw. geogen begründeten Einflussfaktoren werden die Grundwasserganglinien auch durch anthropogene Einflüsse, wie z.B. Pumpversuche, sowie durch messstellenbedingte Faktoren wie z.B., die direkte Zusickeung von Oberflächenwasser in das Standrohr, beeinflusst (vgl. Kap. 4.8).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 135 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 4.4: Zusammenstellung der mittels visueller Analyse bestimmten Trends und Reaktionen der Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe in den GWM.

Mess- stelle ⁽¹⁾	Lithologie	Mittlerer Flurab- stand (m)	Reaktion auf langjähriges Nieder- schlagsre- gime	Amplitude der saisonalen Schwankun- gen (m)	Reaktion auf einzelne Nieder- schlags- ereignisse	Reaktion auf Luft- druckän- derungen	Reaktion auf Gezei- tenkräfte
H3	su2	57,3	ja	ca. 0,5 – 2,5	–	ja	–
S1	su	17,6	ja	ca. 0,7 – 4	ja	–	–
S3	su, z3r, z	12	(ja)	–	–	–	?
H24b	so1-so2	42	ja	ca. 1 – 8	z.T. bis 30 m	ja	–
H1	mu	4,1	ja	ca. 0,5 – 2	ja	–	–
H14	q, mu	6,5	ja	ca. 0,5 – 3,5	ja	–	?
H23	mu	65,4	ja	ca. 0,5 – 2,5	ja	–	–
P16	mu	30	ja	ca. 2 – 10	ja	ja	?
PN1-FP	mu3	20,5	keine Daten	ca. 0,7	–	ja	ja
PN1-TP	mu1	24	keine Daten	ca. 2	ja ⁽²⁾	ja	ja
PN2-FP	mm	39,8	keine Daten	ca. 2	–	ja	ja
PN2-TP	mu1	44,3	keine Daten	ca. 3,5	–	ja	ja
R5	mu	55	–	–	–	–	–
R6	mu	80	ja	ca. 2,5 – 12	–	ja	ja
R7	mu	60	ja	–	–	–	–
R8	mu	40	ja	ca. 1 – 7	–	–	–
H6	q, mm, so1	12,5	ja	ca. 1,5 – 6	ja	ja	–
H16	mmR	11,6	ja	ca. 1 – 10	ja	ja	–
P13	mmR, so2-so3	21	ja	–	–	ja	?
P9	km	3,3	ja	ca. 1,5 – 2	ja	ja	–
P17	km1	12,5	keine Daten	ca. 2,5	ja	ja	–
P15	ko	31	ja	–	–	ja	–
H7	ju	artesisch	keine Daten	ca. 0,5	ja	–	–
H9	ju	8,6	keine Daten	ca. 1 – 2	ja	–	–
H5	z3r (so1, A3)	12,5	ja	ca. 0,5 – 3	ja	–	–
H17	Sub.-Ger-	45,2	ja	ca. 0,5 – 1	ja	ja	–

⁽¹⁾ Der Brunnen M1 wurde hier ausgeklammert, da er durch tägliche Wasserentnahmen keine natürliche Grundwasserspiegelhöhe und auch kein natürliches Regime aufweist.

⁽²⁾ Bedingt durch ein defektes Abschlussbauwerk, vgl. Kap. 4.7.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 136 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

4.3.2 Charakteristik der Ganglinien

Die Charakteristik der Ganglinien kann u.a. von der Tiefenlage der Filterstrecke, der Art des Messstellenausbaus (z.B. Filterrohr oder perforiertes Vollrohr), den hydraulischen Eigenschaften des GW-Leiters und der Stellung des erschlossenen Grundwasserkörpers im hydraulischen Geschehen abhängen (d.h. der Zuordnung zu Infiltrations-, Transit- und Exfiltrationszonen).

Buntsandstein

In Bezug auf saisonale Veränderungen des Grundwasserspiegels, zeigen die im Unteren Buntsandstein *su* verfilterte GWM H3 sowie Schacht Asse 1 ein ähnliches Verhalten. Beide weisen einen gedämpften Verlauf mit Hochlagen nach der jährlichen GW-Neubildungsphase im Spätwinter/Frühling auf und zeigen keinen oder einen sehr geringen Einfluss einzelner Niederschlagsereignisse. Dieses Verhalten ist typisch für tiefere GW-Leiter mit durch Deckschichten verzögerter GW-Neubildung bzw. mit einer geringen Anbindung an oberflächennahe Schichten.

Im Jahresverlauf findet nach der Phase mit verstärkter Zusickerung im Spätwinter/Frühjahr zumeist ein mehr oder weniger linearer Abfall des Grundwasserspiegels statt, der auf eine kontinuierliche Entwässerung im Einzugsgebiet hindeutet. Voraussetzung hierfür ist ein nahezu gleichbleibendes Gefälle des Grundwasserspiegels zum Vorfluter hin. Ein unterer Grenzwert scheint bei der GWM H3 nicht erreicht zu werden, bei der Ganglinie von Schacht Asse 1 wurde er möglicherweise in den Jahren 1987 bis 1990 erreicht, in denen der Süßwasserdruckspiegel nicht unter ein Niveau von etwa 132 mNN bis 133 mNN fiel.

Im Gegensatz dazu zeigt die GWM H24b ein anderes Verhalten. Die Charakteristik dieser GWM mit ihrer starken Reaktion auf einzelne Niederschlagsereignisse ist wahrscheinlich auf den oberflächennahen Anschluss an ein Karströhrensystem des oberflächennahen Oberen Buntsandstein so und das dementsprechend geringe Speichervermögen zurück zu führen (siehe auch Kap. 4.7). Diese GWM zeigt im Jahresverlauf jeweils einen degressiven Abfall der Süßwasserdruckspiegelhöhe nach GW-Neubildungsphasen gegen einen unteren Grenzwert von ca. 168 mNN.

Muschelkalk

Die Ganglinien der im Unteren Muschelkalk *mu* verfilterten GWM H1, H14, H23 und P16 weisen jeweils deutliche Anstiege in Phasen mit erhöhter GW-Neubildung auf. Diese werden jeweils gefolgt von einem annähernd linearen Abfall im weiteren Jahresverlauf. Bis auf die sehr oberflächennahen GWM H1 und H14 zeigen die Muschelkalk-Messstellen keine bzw. nur geringe Reaktionen auf einzelne Niederschlagsereignisse. Die an diesen Messstellen in den Sommer-/ Herbstmonaten beobachtete nahezu konstante Rate des Wasserspiegelabfalls weist darauf hin, dass eine kontinuierliche Entwässerung des GW-Leiters erfolgt. Voraussetzung hierfür ist wiederum ein nahezu gleichbleibendes Gefälle des Grundwasserspiegels zum Vorfluter hin. Der zumeist rasche Anstieg des Grundwasserspiegels in diesen GWM im Spätwinter/Frühjahr bzw. auch nach einzelnen Niederschlagsereignissen spricht für eine nur geringmächtige und meist gut durchlässige Grundwasserüberdeckung im Einzugsgebiet und eine gute – möglicherweise durch Verkarstung begünstigte – hydraulische Anbindung an oberflächennahe Schichten.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 137 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die in den deutlich tiefer unter der Geländeoberfläche gelegenen Abschnitten des Unteren Muschelkalk *mu* verfilterten GWM PN1 und PN2 sowie die Messstellen R5 bis R8 und zeigen ein von den übrigen Muschelkalk-Messstellen abweichendes Verhalten. Während die GWM R5 und R7 keine saisonale oder mehrjährige Süßwasserwasserdruckspiegeländerungen zeigt, weisen die übrigen GWM einen gedämpften mehrjährigen und saisonalen Verlauf auf, wobei Reaktionen auf einzelne Niederschlagsereignisse kaum vorhanden sind. Die Dämpfung des GW-Neubildungssignals ist wahrscheinlich durch die größere Tiefenlage bedingt. Die mit zunehmender Tiefe grösser werdende Amplitude der saisonalen Süßwasserwasserdruckspiegeländerungen lässt sich möglicherweise mit der Abnahme des Speichervermögens im Muschelkalk-GW-Leiter mit zunehmender Tiefe erklären. Die jeweils in den Messstellenbündeln PN1 und PN2 beobachtete geringere Süßwasserdruckspiegelhöhe in den Tiefpegeln kann auf einen absteigenden Grundwasserfluss in diesem Gebiet um die Klein Vahlberger Buchen hindeuten.

Die überwiegend in den oberflächennahen mergeligen, kalkigen und gipshaltigen Schichten des Mittleren Muschelkalk *mm* verfilterten GWM H6 und H16 zeigen einen sehr ähnlichen Charakter der Grundwasserganglinie im Vergleich zu den GWM, die den Unteren Muschelkalk *mu* erschließen. Eine Ausnahme bildet die GWM P13, die zwar auch in Mergel- und Gipssteinen des Mittleren Muschelkalk *mm* (sowie mit einem kurzen Abschnitt im Oberen Buntsandstein *so2-so3*) verfiltert ist, aber eine stark gedämpfte und um mehrere Monate gegenüber den zu nassen/zu trockenen Jahren verschobene Ganglinie zeigt. Diese stark gedämpfte Charakteristik der Ganglinie lässt sich potentiell durch verschiedene Faktoren, wie z.B. eine geringe Anbindung der Messstelle an oberflächennahe Schichten oder lokal geringere hydraulische Durchlässigkeiten der Schichten des Mittleren Muschelkalk *mm*, erklären.

Keuper

Die Ganglinie des Wasserspiegels der im Mittleren Keuper *km* oberflächennah verfilterten GWM P9 (Wasserspiegel bei 2 m bis 3 m unter Gelände) ist durch einen sehr unruhigen Verlauf gekennzeichnet, der weitestgehend ungedämpft das Niederschlagssignal abbildet. Im Gegensatz dazu zeigen die GWM P15 (Mittlerer Keuper *km*) und P17 (Oberer Keuper *ko*) eine stark gedämpfte, und um 1 bis 2 Monate gegenüber den zu nassen/zu trockenen Jahren verschobene Ganglinie. Diese starke Dämpfung lässt sich ebenfalls durch die geringe Durchlässigkeit der überwiegend tonig- bis feinsandigen Keupersedimente und/oder die geringe Anbindung an oberflächennahe Schichten erklären.

Die unmittelbare Reaktion des Wasserspiegels in GWM H7 auf das Niederschlagsregime und auf einzelne Niederschlagsereignisse kann (falls keine fehlerhafte Messung vorliegt, vgl. Kap. 4.2.4) durch die oberflächennahe z.T. artesische Lage des Wasserspiegels bedingt sein. Im Gegensatz dazu ist die Reaktion auf Niederschlagsereignisse in GWM H9 etwas gedämpfter und auf das saisonale bzw. das mehrjährige Regime beschränkt, während sich einzelne Niederschlagsereignisse nicht in der Ganglinie widerspiegeln.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 138 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Residuales Zechsteingebirge

Die GWM H5 hat – entsprechend der für die jeweiligen Filterstreckenabschnitte anhand von Packertests bestimmten Transmissivität [GSF 1994] – wahrscheinlich einen Hauptzufluss in residualen Gesteinen des Rötanhydrit so1A. Daher kann die Ganglinie dieser GWM nur bedingt zur Charakterisierung des Wasserspiegels im residualen Zechstein z3r herangezogen werden. Markant ist bei der Ganglinie dieser GWM ein deutliches saisonales Regime sowie eine rasche Reaktion auf einzelne intensive Niederschlagsereignisse. Der zumeist rasche Anstieg des Grundwasserspiegels in der GWM H5 im Spätwinter-/Frühjahr bzw. auch nach einzelnen Niederschlagsereignissen spricht für eine nur geringmächtige und meist gut durchlässige Grundwasserüberdeckung im Einzugsgebiet und eine gute hydraulische Anbindung der Messstelle an oberflächennahe Schichten. Zusätzlich kann das geringe Speichervermögen des potentiell oberflächennah verkarsteten Rötanhydrit so1A eine Rolle spielen.

Subrosionsgerinne am Salzspiegel

Für die GWM H17 ist ein mehrjähriges und saisonales Regime der Ganglinie sowie die deutliche und rasche Reaktion (d.h. Anstieg jeweils um ca. 1 m) auf die Wasserspiegelabfallereignisse in SchachtASSE 1 angesichts der Tiefenlage der Filterstrecke (ca. 230 m bis 240 m u. Messpunkt) von Bedeutung. Für den langfristig fallenden Trend des Wasserspiegels (vgl. Kap. 4.4.2) in dieser Messstelle gibt es momentan keine Erklärung.

4.3.3 Minimal- und Maximalwerte der Ganglinien

Die Extremwerte, d.h. die Minimal- und Maximalwerte der Standrohr- bzw. Süßwasserdruckspiegelhöhen der GWM sind – mit Ausnahme derjenigen GWM, die erst seit dem Jahr 2010 oder später mittels der Diver-Druckaufnehmer beobachtet werden (d.h. GWM H7, PN1, PN2, P17) – in Tab. 4.5 und Tab. 4.6 gezeigt. Dabei wird für jede betrachtete Messstelle zwischen den Extremwerten für den gesamten Zeitraum seit Beginn der Messungen und den Werten für den hier betrachteten Zeitraum der hydrologischen Jahre 2002 bis 2010 unterschieden. Es ist zudem hervorzuheben, dass die Angabe der Süßwasserdruckspiegelhöhe mit den Dichtekorrekturtermen aus Tab. 4.1 unter Vorbehalt erfolgt, da potentielle Dichteänderungen die vor oder nach der jeweiligen Dichtemessung stattfinden nicht berücksichtigt werden. Für die Messstellen, die i.W. gering mineralisiertes Brackwasser führen ist allerdings nur eine geringe Veränderung der Dichtekorrekturterme über die Zeit zu erwarten (vgl. Diskussion in Kap. 4.1.5). Gravierende Änderungen der Wasserdichte sind jedoch bei den tiefen R-Messstellen zu beobachten. Die extremen Änderungen der Dichte in den R-Messstellen waren bedingt durch das Abpumpen der Süßwasserwassersäule Ende der 1980er-Jahre sowie durch Zuflüsse von Oberflächenwasser direkt in das Standrohr der Messstelle.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 139 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 4.5: Extremwerte der Wasserspiegel unter Messpunkt („WSP“) und Süßwasserdruckspiegelhöhen („FWH“) in den H-Messstellen des Asse-Höhenzuges für die gesamte Zeitreihe seit Beginn der Messungen sowie für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 (Daten der Seba-Druckaufnehmer).

GWM	von	bis	Min WSP	Min FWH	Datum	Max WSP	Max FWH	Datum
			(m)	(mNN)		(m)	(mNN)	
H1	07.12.79	31.10.11	4,73	147,80	03.09.91	1,41	151,12	14.04.94
H1	01.11.01	31.10.11	4,44	148,09	23.12.06	1,64	150,89	06.01.03
H3	02.01.84	31.10.11	62,86	163,33	03.07.87	53,68	172,52	23.04.94
H3	01.11.01	31.10.11	60,44	165,75	16.02.02	56,01	170,18	30.03.11
H5	14.03.73	31.10.11	12,99	183,18	12.12.91	10,03	186,14	10.03.79
H5	01.11.01	31.10.11	12,73	183,44	30.10.11	10,73	185,44	10.01.11
H6	02.03.81	31.10.11	17,72	162,97	20.12.91	5,39	175,30	14.04.94
H6	01.11.01	31.10.11	17,13	163,56	09.02.07	5,56	175,13	04.02.03
H9	02.01.83	31.10.11	9,56	135,67	22.12.06	6,52	138,71	03.01.03
H9	01.11.01	31.10.11	9,56	135,67	22.12.06	6,52	138,71	03.01.03
H14	14.03.73	31.10.11	10,86	137,99	18.12.80	1,94	146,91	15.04.94
H14	01.11.01	31.10.11	7,52	141,33	26.12.06	2,0	146,85	16.01.11
H16	21.07.73	31.10.11	18,46	157,94	21.12.91	1,92	174,47	30.04.94
H16	01.11.01	31.10.11	17,66	158,73	10.01.02	3,98	172,41	16.02.11
H17	02.01.78	31.10.11	46,89	130,70	18.01.07	40,10	137,49	11.04.79
H17	01.11.01	31.10.11	46,89	130,70	18.01.07	43,68	133,92	07.11.94
H23	15.04.86	31.10.11	69,84	155,53	04.03.07	60,44	164,92	23.04.94
H23	01.11.01	31.10.11	69,84	155,53	04.03.07	60,80	164,56	13.01.03
H24b	30.04.86	31.10.11	44,77	168,20	14.01.07	9,26	203,70	24.03.88
H24b	01.11.01	31.10.11	44,77	168,20	14.01.07	11,35	201,61	03.01.03

Anmerkung: Die grau hinterlegten Zeilen enthalten die Extremwerte der gesamten Zeitreihe der jeweiligen Messstelle seit Beginn der Messungen. Die Zeile darunter enthält jeweils die Extremwerte für den Zeitraum der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 140 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 4.6: Extremwerte der Wasserspiegel unter Messpunkt („WSP“) und Süßwasserdruckspiegelhöhen („FWH“) in den P- und R-Messstellen des Asse-Höhenzuges sowie in Schacht Asse 1 und 3 für die gesamte Zeitreihe seit Beginn der Messungen sowie für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 (i.W. Daten der Seba-Druckaufnehmer).

GWM	von	bis	Min WSP	Min FWH	Datum	Max WSP	Max FWH	Datum
			(m)	(mNN)		(m)	(mNN)	
P9	08.10.87	31.10.11	3,93	160,13	02.11.01	0,33	164,45	02.01.03
P9	01.11.01	31.10.11	3,93	160,13	02.11.01	0,33	164,45	02.01.03
P13	07.02.86	31.10.11	23,49	190,71	18.01.08	18,93	195,27	04.05.88
P13	01.11.01	31.10.11	23,49	190,71	18.01.08	20,40	193,80	19.05.03
P15	13.01.88	31.10.11	36,91	122,92	03.01.02	26,38	133,44	12.04.89
P15	01.11.01	31.10.11	36,91	122,92	03.01.02	27,91	131,91	26.09.05
P16	05.02.86	31.10.11	39,62	162,11	07.12.01	20,95	180,78	04.07.94
P16	01.11.01	31.10.11	39,62	162,11	07.12.01	23,29	178,44	30.05.88
R5	06.07.85	31.10.11	131,34	85,84	07.12.89	12,24	204,94	08.10.87
R5	01.11.01	31.10.11	74,22	142,96	31.10.11	47,54	169,64	10.11.01
R6	02.01.86	31.10.11	128,39	84,96	24.01.97	65,90	147,45	04.02.11
R6	01.11.01	31.10.11	119,41	93,95	01.11.01	65,90	147,45	04.02.11
R7	20.03.87	31.10.11	111,79	134,38	26.02.90	51,19	194,98	10.07.89
R7	01.11.01	31.10.11	62,0	184,17	25.12.01	58,50	187,67	18.09.11
R8	13.02.87	31.10.11	150,24	28,52	14.12.89	25,89	152,87	18.02.96
R8	01.11.01	31.10.11	43,07	135,69	16.12.05	33,02	145,74	16.02.11
S1	24.10.73	31.10.11	28,08	132,47	01.10.87	10,35	150,20	25.04.08
S1	01.11.01	31.10.11	20,37	140,18	23.02.02	10,35	150,20	25.04.08
S3 ⁽¹⁾	19.11.76	31.10.11	20,50	175,47	02.12.81	7,93	188,04	01.10.81
S3 ⁽¹⁾	01.11.01	31.10.11	14,37	181,60	16.01.02	8,61	187,36	22.01.03

Anmerkung: Die grau hinterlegten Zeilen enthalten die Extremwerte der gesamten Zeitreihe der jeweiligen Messstelle seit Beginn der Messungen. Die Zeile darunter enthält jeweils die Extremwerte für den Zeitraum der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011.

⁽¹⁾ Abstichdaten



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 141 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

4.4 STATISTISCHE AUSWERTUNG UND ZEITREIHENANALYSE

Gegenstand des vorliegenden Kapitels ist die statistische Analyse der Zeitreihen, die für jede Messstelle durch die im Laufe der Zeit gemessenen Werte der Süßwasserdruckspiegelhöhe $h_{f,i}$ gebildet werden (vgl. Kapitel 4.1.4 zur Definition der Süßwasserdruckspiegelhöhe). Im vorliegenden Kapitel 4.4 – und nur hier – wird für die Süßwasserdruckspiegelhöhe vereinfachend das Formelzeichen y verwendet.

Für die statistische Analyse von Zeitreihen wird die beobachtete Größe üblicherweise derart in unabhängige Komponenten zerlegt, dass sich die Komponenten in charakteristischer Weise unterscheiden und deren getrennte Analyse verbesserte Rückschlüsse auf die systembestimmenden Prozesse ermöglicht. Für die statistische Analyse von Süßwasserdruckspiegelhöhen und Zeitreihen anderer hydrologischer und hydrogeologischer Größen erfolgt die Zerlegung häufig additiv in eine Trendkomponente $y_T(t)$, eine sich periodisch (insbesondere saisonal) ändernde Komponente mit zeitlichem Mittelwert 0, $y_P(t)$, und eine dritte Komponente, die tatsächlich oder (aufgrund unserer beschränkten Kenntnisse) scheinbar stochastische Eigenschaften aufweist. Die letztgenannte Komponente wird als stochastische Komponente bezeichnet und mit $y_S(t)$ bezeichnet.

$$y(t) = y_T(t) + y_P(t) + y_S(t) \quad (4.6)$$

Als trendbereinigter Anteil der Süßwasserdruckspiegelhöhe wird die Differenz $y(t) - y_T(t)$ bezeichnet, als Formelzeichen wird $y_{PS}(t)$ verwendet. Damit gilt

$$y(t) = y_T(t) + y_{PS}(t) \quad (4.7)$$

$$y_{PS}(t) = y_P(t) + y_S(t)$$

Ein wesentliches Ziel der Auswertung ist die ergänzende und vertiefte Betrachtung der im vorangegangenen Kapitel dargestellten Grundwasserganglinien hinsichtlich

- (i) der statistischen Beschreibung durch Angabe von Mittelwert, Varianz / Standardabweichung sowie Minimal- und Maximalwert in der betrachteten Zeitperiode,
- (ii) der quantitativen Erfassung von Trends, Saisonalitäten und mehrjährigen Periodizitäten mittels der Autokorrelations- und Fourieranalyse sowie
- (iii) der Kreuzkorrelationen der betrachteten Ganglinie mit den Niederschlags- und Luftdruckganglinien sowie mit den Ganglinien in anderen Messstellen.

Die unter (iii) genannten Kreuzkorrelationen können vorhandene Abhängigkeiten aufzeigen und erlauben allenfalls, die Verzögerung zwischen dem auslösenden Ereignis (z.B. Niederschlagsereignis) und der Reaktion der Süßwasserdruckspiegelhöhe quantitativ zu erfassen.

Nachfolgend wird die Zeitreihenanalyse exemplarisch für ausgewählte Messstellen durchgeführt, wobei zwei Messstellen im Zentrum stehen: (i) Die Messstelle P16 befindet sich rund 300 m süd-



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 142 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

östlich vom Schacht Asse 2 und erfasst im Tiefenbereich 23 m bis 80 m den Unteren Muschelkalk. Die hydraulischen Tests ergaben für den beprobten Tiefenbereich einen relativ hohen mittleren k_f -Wert von rund $1 \cdot 10^{-7}$ m/s. (ii) Die Messstelle in der Tiefbohrung R7 befindet sich rund 600 m südwestlich vom Schacht Asse 2 und erfasst den Unteren Muschelkalk im Tiefenbereich 744 m bis 832 m. Dieser Tiefenbereich wurde jeweils teilweise von hydraulischen Tests in zwei Teststrecken untersucht. Die über die jeweiligen Teststrecken gemittelten k_f -Werte betragen $1 \cdot 10^{-12}$ m/s und $2,5 \cdot 10^{-10}$ m/s.

Für die statistische Zeitreihenanalyse wurde folgendes Vorgehen gewählt:

- (1) Wahl der zu analysierenden Zeitperiode. Diese sollte eine ganze Anzahl hydrologischer Jahre umfassen, um alle Jahreszeiten gleich zu gewichten. Darüber hinaus ist ein Kompromiss zwischen einer möglichst langen Zeitperiode und möglichst vergleichbaren Datengrundlagen für die zu vergleichenden Messstellen zu suchen. Für die nachfolgende exemplarische Analyse wurde die 10-Jahresperiode vom 01.11.2001, 00.00 Uhr bis 31.10.2011, 23.59 Uhr gewählt.
- (2) Sichtkontrolle der Ganglinie, Elimination von vermuteten Ausreißern auf der Basis einer Plausibilitätsbewertung.
- (3) Darstellen der Jahresmittelwerte sowie der Standardabweichung und der Extremwerte der erfassten 15min-Daten für jedes hydrologische Jahr.
- (4) Ermitteln des linearen Trends über die 10-jährige Periode auf der Basis der 15min-Werte mittels linearer Regression. Berechnen der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$. Anmerkung: Die trendbereinigte Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ nimmt sowohl positive als auch negative Werte an. Ihr zeitlicher Mittelwert ist i.d.R. von Null verschieden, da der lineare Trend $y_T(t)$ durch lineare Regression, d.h. Minimieren der Summe der Differenzenquadrate $[y(t) - y_T(t)]^2$ ermittelt wird.
- (5) Berechnen der Monatsmittelwerte auf der Basis der trendbereinigten 15min-Daten (z.B. der trendbereinigten 15min-Werte aller Monate April zwischen April 2002 und April 2011) sowie der Standardabweichung dieser 15min-Werte.
- (6) Fourieranalyse der trendbereinigten 15min-Werte $y_{PS}(t_i)$. Zerlegen der trendbereinigten Ganglinie in den periodischen (saisonalen) Anteil $y_P(t)$ und den stochastischen Anteil $y_S(t)$ gemäß:

$$y_P(t) = \text{Summe der Fourier-Terme zu den Frequenzen } 1 \text{ a}^{-1}, 2 \text{ a}^{-1}, \dots 6 \text{ a}^{-1}$$

$$y_S(t) = y_{PS}(t) - y_P(t)$$

Anmerkung: Auf der Basis einer endlichen Zeitperiode können nur die Fourier-Terme zu diskreten Frequenzen berechnet werden (siehe unten). Bei einer 10-jährigen Zeitperiode sind das im Bereich der Frequenz von 1 a^{-1} die Frequenzen $9/10 \text{ a}^{-1}$, 1 a^{-1} und $11/10 \text{ a}^{-1}$. Als periodischen Anteil der Süßwasserdruckspiegelhöhe werden nur die Beiträge der exakt jährlich periodischen Fourier-Terme bis runter zu einer Periodenlänge von zwei Monaten, d.h. einer Frequenz von 6 a^{-1} festgelegt. Die Fourier-Terme, die eine Periodizität von nur näherungsweise einem Jahr aufweisen, und jene, die jährlich mehr als sechs Perioden durchlaufen, werden dem stochastischen Anteil der Süßwasserdruckspiegelhöhe zugerechnet.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 143 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- (7) Ermitteln der Autokorrelation von $y_S(t)$ und Bewertung des Ergebnisses unter Verwendung eines Signifikanzkriteriums.
- (8) Ermitteln der Kreuzkorrelation der trendbereinigten Ganglinie $y_{PS}(t)$, d.h. einschließlich des periodischen Anteils, mit den potentiellen Einflussgrößen Niederschlag und Luftdruck und Bewertung des Ergebnisses unter Verwendung eines Signifikanzkriteriums.
- (9) Ermitteln der Kreuzkorrelation zwischen dem stochastischen Anteil $y_S(t)$ der betrachteten Messstelle mit dem stochastischen Anteil $y_S(t)$ von ausgewählten anderen Messstellen und Bewertung des Ergebnisses unter Verwendung eines Signifikanzkriteriums.

4.4.1 Jährliche Entwicklung

Die graphische Darstellung der Süßwasserdruckspiegelhöhen als Funktion der Zeit in den verschiedenen Messstellen erfolgte bereits im vorangegangenen Kapitel 4.2. Diese Darstellungen ließen bereits erste qualitative Schlüsse über das Vorliegen von Trends, Saisonalitäten, Varianz, Ausreißern sowie sonstigen Auffälligkeiten für jede der Messstellen zu. In den Abb. 4.68 und Abb. 4.69 werden exemplarisch die jährlichen Mittelwerte der 15min-Werte sowie die jährlichen Extrema und die jährlichen Standardabweichungen der 15min-Werte für die GWM P16 und R7 gezeigt. Keine Ergebnisse sind dargestellt, wenn sich die Datenlücken während eines hydrologischen Jahres kumuliert über mehr als zwei Monate erstrecken.

Die Abbildungen zeigen, dass die Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM P16 im Vergleich mit jener in R7 ausgeprägtere Schwankungen von Jahr zu Jahr und auch während eines Jahres aufweist. Der Verlauf in der GWM P16 ist qualitativ typisch für den Verlauf auch in anderen Messstellen mit Filterstrecken in Oberflächennähe. Die geringere Schwankungsbreite während eines Jahres in der tiefen GWM R7 ist demgegenüber typisch für tiefe Messstellen (allerdings mit Ausnahmen). Der langfristig anhaltende Anstieg der Süßwasserdruckspiegelhöhe in R7 ist demgegenüber nicht typisch: In anderen tiefen Messstellen werden stark abfallende oder langfristig nur mäßig veränderliche Werte gemessen. Eine Erklärung für die langfristigen markanten Veränderungen in einigen Messstellen liegt nicht vor.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 144 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

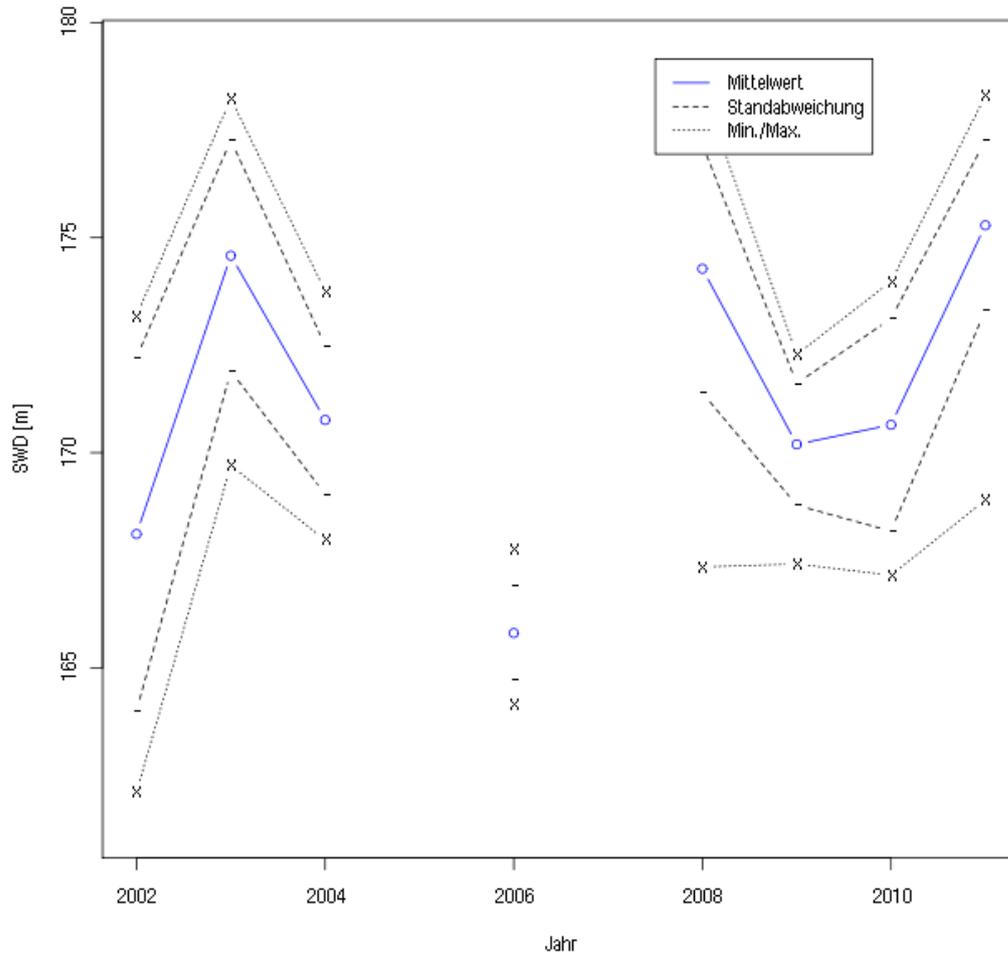


Abb. 4.68: Jährliche Mittelwerte, jährliche Extrema und jährliche Standardabweichungen der Süßwasserdruckspiegelhöhe der GWM P16 (15min-Werte; vor der Trendbereinigung).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 145 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

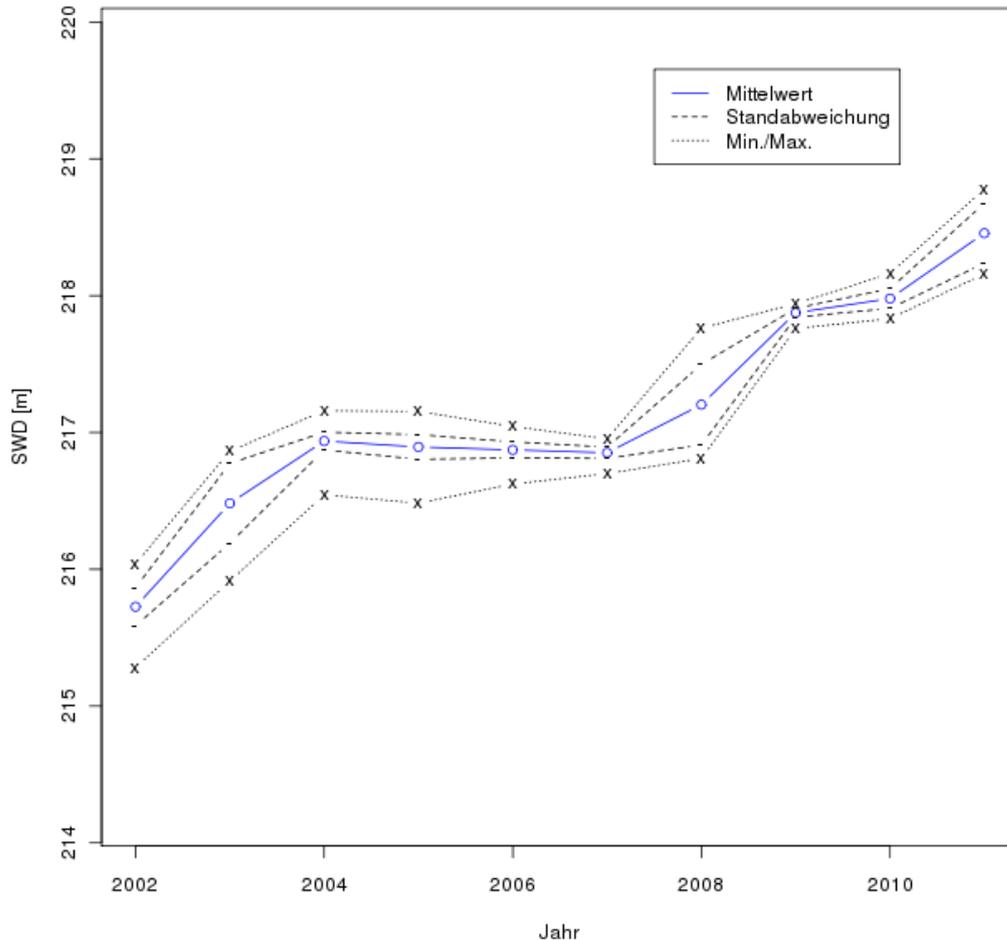


Abb. 4.69: Jährliche Mittelwerte, jährliche Extrema und jährliche Standardabweichungen der Süßwasserdruckspiegelhöhe der GW M R7 (15min-Werte; vor der Trendbereinigung).

4.4.2 Trendanalyse

In einem zweiten Arbeitsschritt wird für jede Messstelle die Trendkomponente $y_T(t)$ für den betrachteten Zeitraum der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 ermittelt. Dies erfolgt mit einem linearen Ansatz für $y_T(t)$

$$y_T(t) = b_0 + b_1 \cdot (t - t_0) \quad (4.8)$$

mit t_0 hier 01.11.2001, 00:00

Die Trendparameter b_0 und b_1 , d.h. der Wert der Trendkomponente ($y_T(t_0)$) am 01.11.2001 und die mittlere jährliche Veränderung in der Zeitperiode 2002 – 2011, werden mit linearer Regression bestimmt. In Tab. 4.7 sind die Ergebnisse für ausgewählte Messstellen zusammengestellt. Aufge-



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 146 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

führt sind zudem der hydrogeologische Horizont und das Tiefenintervall, in dem sich die Messstelle befindet, sowie R^2 , das Quadrat des Korrelationskoeffizienten zwischen der Süßwasserdruckspiegelhöhe $y(t)$ und $y_T(t)$ als Maß für die Güte der Approximation von $y(t)$ durch $y_T(t)$.

Die Steigungen der Trends sind im Vergleich mit der jährlichen Schwankungsbreite der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der gleichen Messstelle in der Regel gering; es bestehen jedoch Ausnahmen, z.B. in der GWM R7. Auffallend sind:

- der bereits oben erwähnte markante Trend in der tiefen GWM R7
- der extrem starke Trend in der tiefen GWM R5 mit umgekehrtem Vorzeichen im Vergleich mit R7 und mit extrem hohem Korrelationskoeffizienten R^2
- der schwache Trend in der tiefen GWM R8, der vergleichbar ist mit den meisten oberflächennahen Messstellen
- der relativ markante Trend in der oberflächennahen GWM H6 knapp 200 m südlich von Schacht Asse 2 im Taleinschnitt

Wie bereits oben erwähnt, liegen für die markanten Trends in den tiefen GWM R5 und R7 keine Erklärungen vor.

Insgesamt ist bei der Betrachtung der langfristigen Trends zu berücksichtigen, dass für die Messstellen, die stärker mineralisiertes Grundwasser (d.h. Salzwasser bzw. Sole) aufweisen, Angaben zu zeitlichen Trends nur unter Vorbehalt belastbar sind, da die letzten Dichteprofile im Jahr 2004 gefahren wurden und z.T. sogar noch länger zurückliegen. Potentielle Änderungen der Dichte in den Messstellen sind somit nur für ausgewählte Wassertiefen mittels der im Labor bestimmten Dichte erfassbar.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 147 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 4.7: Trendparameter der Süßwasserdruckspiegelhöhen für den Zeitraum der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011, basierend auf linearer Regression.

Messstelle	Lithologie (Tiefenintervall)	Trendwert am 01.11.2001: b_0	Steigung b_1	R^2
	(m)	(mNN)	(mm/a)	
H3	<i>su2</i> (36,5 – 91,5 m)	167,7	77	0,047
P16	<i>mu</i> (23 – 80 m)	168,6	320	0,48
R5	<i>mu</i> (791 – 896 m)	169,7	-2784	0,99
R7	<i>mu</i> (744 – 832 m)	184,8	247	0,86
R8	<i>mu</i> (463 – 611 m)	138,81	71	0,0078
H6	<i>q, mm, so1</i> (15,8 – 68,3 m)	166,6	160	0,025
H16	<i>mmR</i> (7,1 – 35,1 m)	163,9	39	0,0012
H5	<i>z3r</i> (9,5 – 117,5 m)	183,8	7	0,0041
H17	<i>Subrosionsgerinne</i> (223,7 – 241,2 m)	132,9	-78	0,081

4.4.3 Monats-Mittelwerte und -Standardabweichungen der trendbereinigten 15min-Daten

Die Monatsmittelwerte der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ sind für die beiden GWM P16 und R7 in den Abb. 4.70 und Abb. 4.71 dargestellt. Ebenfalls dargestellt ist die Standardabweichung der trendbereinigten 15min-Werte im betreffenden Monat.

Die GWM P16 zeigt sowohl beim Mittelwert als auch bei der Standardabweichung einen merklichen saisonalen Verlauf: Der Mittelwert weist zu Winterbeginn den Minimalwert und zu Beginn des Sommers den Maximalwert auf. Die Standardabweichung der trendbereinigten 15min-Werte, d.h. deren Schwankungsbreite, ist im Spätsommer am kleinsten und in den Monaten Januar bis April am größten. Demgegenüber zeigt die tiefe GWM R7 keinen saisonalen Verlauf in der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 148 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Monatsmittelwerte und Standardabweichung

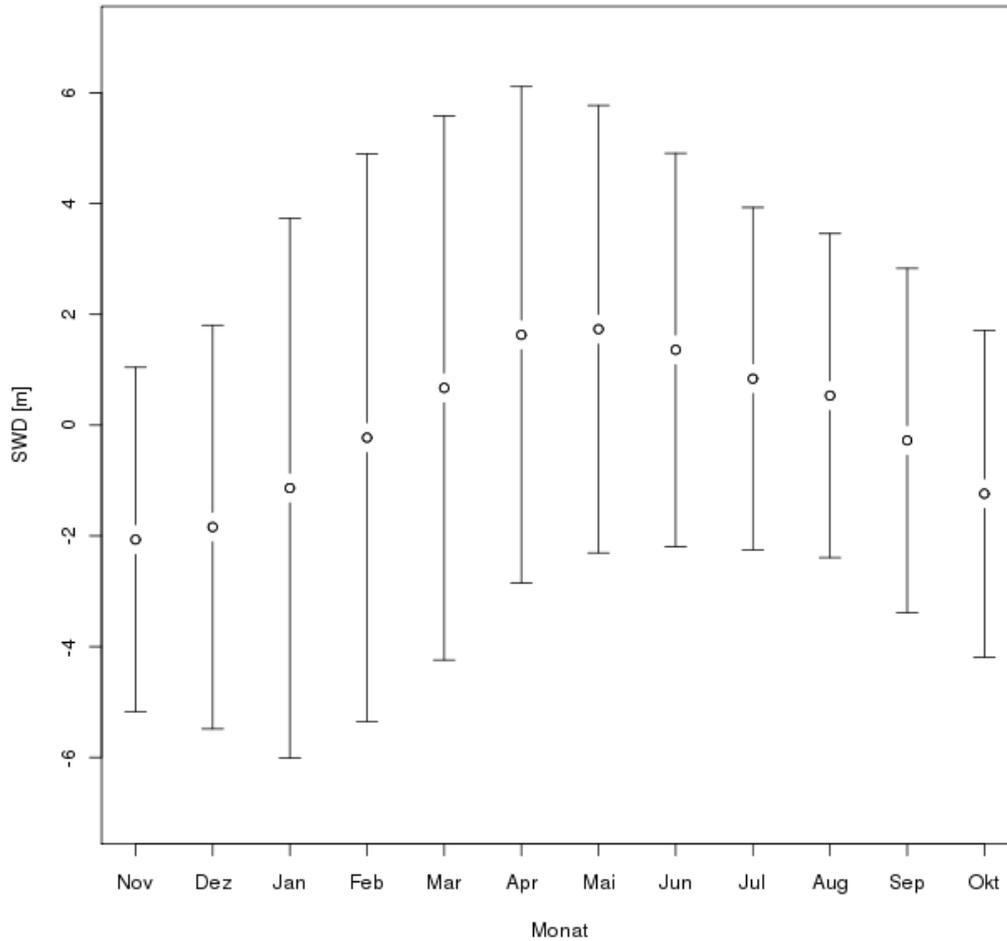


Abb. 4.70: Monatsmittelwerte von $y_{PS}(t)$ und Standardabweichung der trendbereinigten 15min-Werte für die GWM P16 im betreffenden Monat.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 149 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Monatsmittelwerte und Standardabweichung

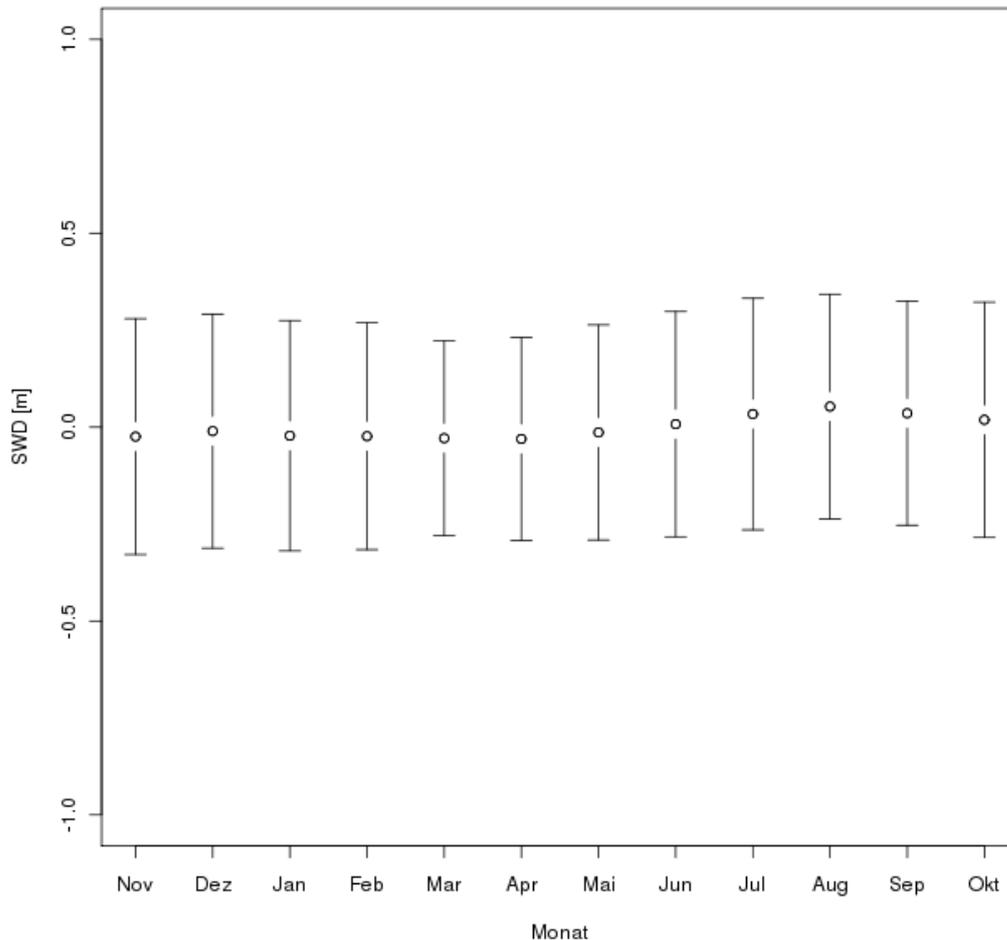


Abb. 4.71: Monatsmittelwerte von $y_{PS}(t)$ und Standardabweichung der trendbereinigten 15min-Werte für die GWM R7 im betreffenden Monat.

4.4.4 Fourieranalyse

In einem nächsten Analyseschritt werden die trendbereinigten Grundwasserganglinien $y_{PS}(t)$ einer Fourieranalyse unterworfen, um den periodischen Anteil $y_P(t)$ zu identifizieren und um $y_{PS}(t)$ in den periodischen Anteil $y_P(t)$ und den stochastischen Anteil $y_S(t)$ aufzuteilen. Dies beruht auf dem Ansatz

$$y_{PS}(t) = \sum_k [c_k \cdot \cos(2\pi \cdot f_k \cdot (t - t_0)) + d_k \cdot \sin(2\pi \cdot f_k \cdot (t - t_0))] \quad (4.9)$$

mit f_k Frequenz [d^{-1}], das Inverse der Frequenz ist die Periode, d.h. die Dauer einer vollen Schwingung



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 150 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

c_k, d_k Amplituden zur Frequenz f_k bzw. zur Periode f_k^{-1} . Die Gesamtamplitude zur Frequenz f_k ist $\sqrt{c_k^2 + d_k^2}$, das Verhältnis von c_k und d_k bestimmt die Phasenverschiebung des Beitrags mit der Frequenz f_k .

Die Amplituden ergeben sich aus der trendbereinigten Grundwasserganglinie gemäß

$$c_k = \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=1}^N y_{PS}(t_i) \cdot \cos(2\pi \cdot f_k \cdot (t_i - t_0))$$

$$d_k = \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=1}^N y_{PS}(t_i) \cdot \sin(2\pi \cdot f_k \cdot (t_i - t_0))$$

(4.10)

mit N die Anzahl der ausgewerteten, d.h. in der Summe auftretenden Werte der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe

t_i die Zeitpunkte der Messungen

Die Summation in Gl. (4.10) muss für alle Frequenzen über das gleiche (möglichst lange) Zeitintervall $t_N - t_0$ erfolgen, und dieses Zeitintervall muss für jede Frequenz genau einem Vielfachen der zugehörigen Periode f_k^{-1} entsprechen. Diese Bedingung bestimmt die in den Gln. (4.9) und (4.10) auftretenden Frequenzen. Für die hier analysierte 10-jährige Periode sind das folgende Frequenzen:

$$f_k = \frac{k}{10 \text{ a}}$$

(4.11)

wobei als kleinster Wert von k aus numerischen Gründen etwa 3 anzusetzen ist, d.h. $k = 3, 4, 5, 6$, etc.

Die Frequenz mit der Periode 1 a ist f_{10} . Eine stetige Funktion, die sich exakt jährlich wiederholt, darüber hinaus aber keinen weiteren Einschränkungen unterliegt, lässt sich durch eine Fourierreihe mit den Frequenzen $f_{10}, f_{20}, f_{30}, f_{40}, \dots, f_{100}, f_{110}, f_{120}, \dots$ etc. abbilden. Die Frequenz f_{60} entspricht der Periode von 2 Monaten, die Frequenz f_{70} beispielsweise der Periode von 365/7 Tagen = 52,14 Tagen. Als periodischer Anteil $y_P(t)$ der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ wird die Summe der Fourier-Terme zu den Frequenzen $f_{10}, f_{20}, f_{30} \dots f_{60}$ definiert. Die jährlich periodischen Fourier-Terme mit kürzerer Periode als 2 Monate werden dem stochastischen Anteil der Süßwasserdruckspiegelhöhe, $y_S(t)$, zugerechnet. Diese Abgrenzung erscheint sinnvoll, ist aber nicht zwingend und kann anders gewählt oder auch ganz weggelassen werden.

Basierend auf Gl. (4.10) mit $t_N - t_0 = 10 \text{ a}$ wird die Aufteilung der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ in den periodischen Anteil $y_P(t)$ und den stochastischen Anteil $y_S(t)$ wie folgt vorgenommen:

$$y_P(t) = \sum_{k=10,20,\dots,60} [c_k \cdot \cos(2\pi \cdot f_k \cdot (t - t_0)) + d_k \cdot \sin(2\pi \cdot f_k \cdot (t - t_0))]$$

(4.12)

$$y_S(t) = y_{PS}(t) - y_P(t)$$



Bundesaamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 151 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die Ergebnisse der Fourieranalyse der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhen sind für die GWM P16 und R7 in Abb. 4.72 bis Abb. 4.75 dargestellt. Abb. 4.72. und Abb. 4.74 zeigen das jeweilige Frequenzspektrum, d.h. die Gesamtamplitude als Funktion der Periode f_k^{-1} . In Abb. 4.73 und Abb. 4.75 sind die beiden Anteile der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe, $y_P(t)$ und $y_S(t)$, abgebildet.

Es fällt auf, dass in beiden Frequenzspektren die Gesamtamplituden zur Frequenz $f_{10} = 1 \text{ a}^{-1}$ im Vergleich mit den benachbarten Amplituden nicht herausragend hoch sind. Mit der möglichen Ausnahme der Amplitude zur Periode von 4 Monaten in der Messstelle P16 trifft das Gleiche auch für die Oberschwingungen zu. Entsprechend sind die periodischen Anteile $y_P(t)$ in beiden Messstellen im Vergleich mit dem stochastischen Anteil $y_S(t)$ relativ klein. Es ist weiter zu vermerken, dass die Amplituden zu den Perioden, die kürzer sind als etwa 3,5 Monate in GWM P16 und als etwa 5 Monate in GWM R7, sehr klein sind. Visuell scheint der stochastische Anteil $y_S(t)$ in beiden Messstellen nach wie vor eine jährliche Periodizität aufzuweisen, obwohl er keine jährlichen Frequenzen außer den hohen Frequenzen ab 7 a^{-1} mit entsprechend kleinen Amplituden mehr enthält. Auf eine weitergehende Analyse der Ergebnisse der Fourieranalyse der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe wird hier verzichtet.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 152 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Frequenzspektrum P16

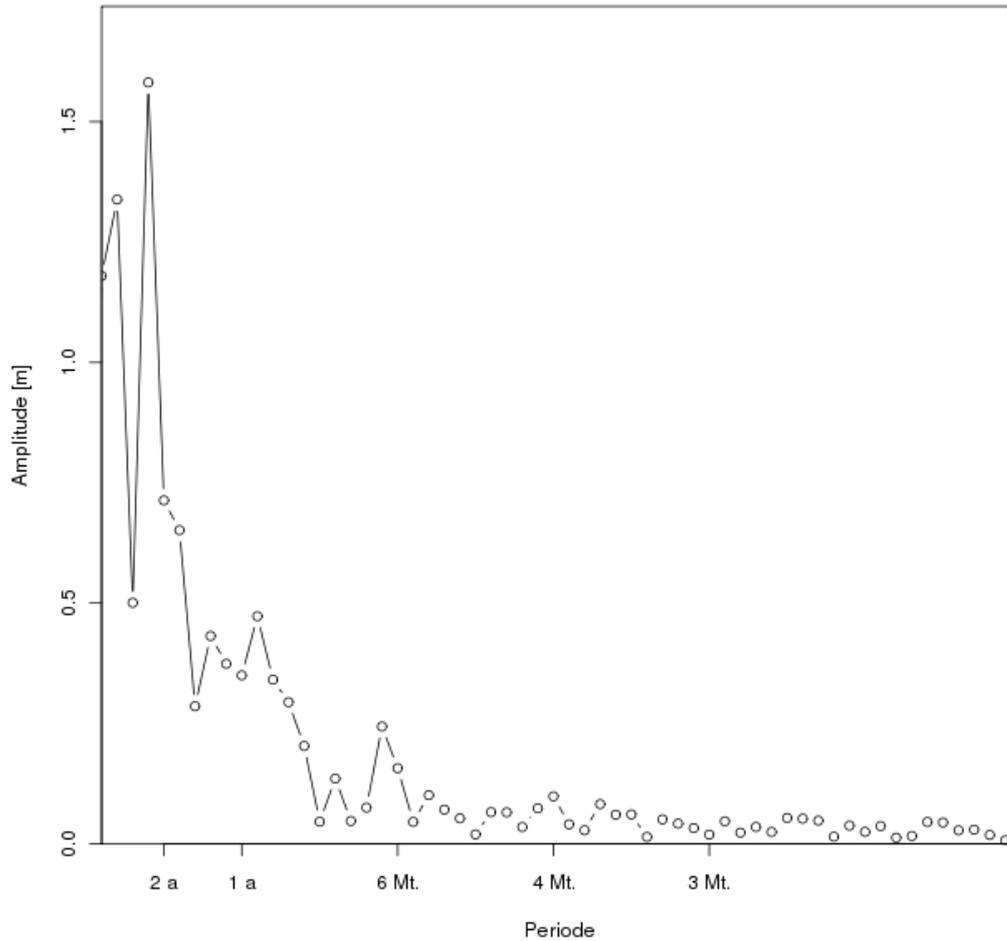


Abb. 4.72: Frequenzspektrum der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ für die GWM P16.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 153 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Zerlegung in stochastischen und periodischen Anteil

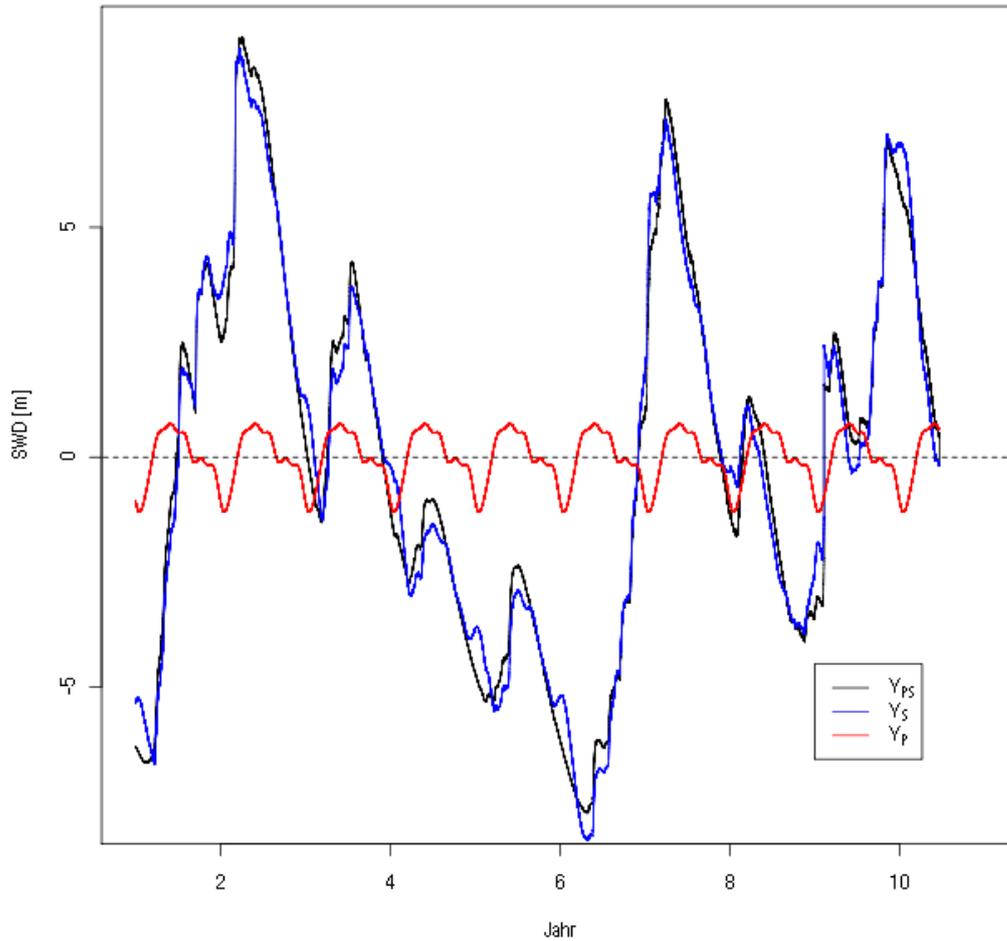


Abb. 4.73: Aufteilung der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{ps}(t)$ in den periodischen Anteil $y_p(t)$ und den stochastischen Anteil $y_s(t)$ gemäß Gl. (4.12) für die GWM P16.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 154 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Frequenzspektrum R7

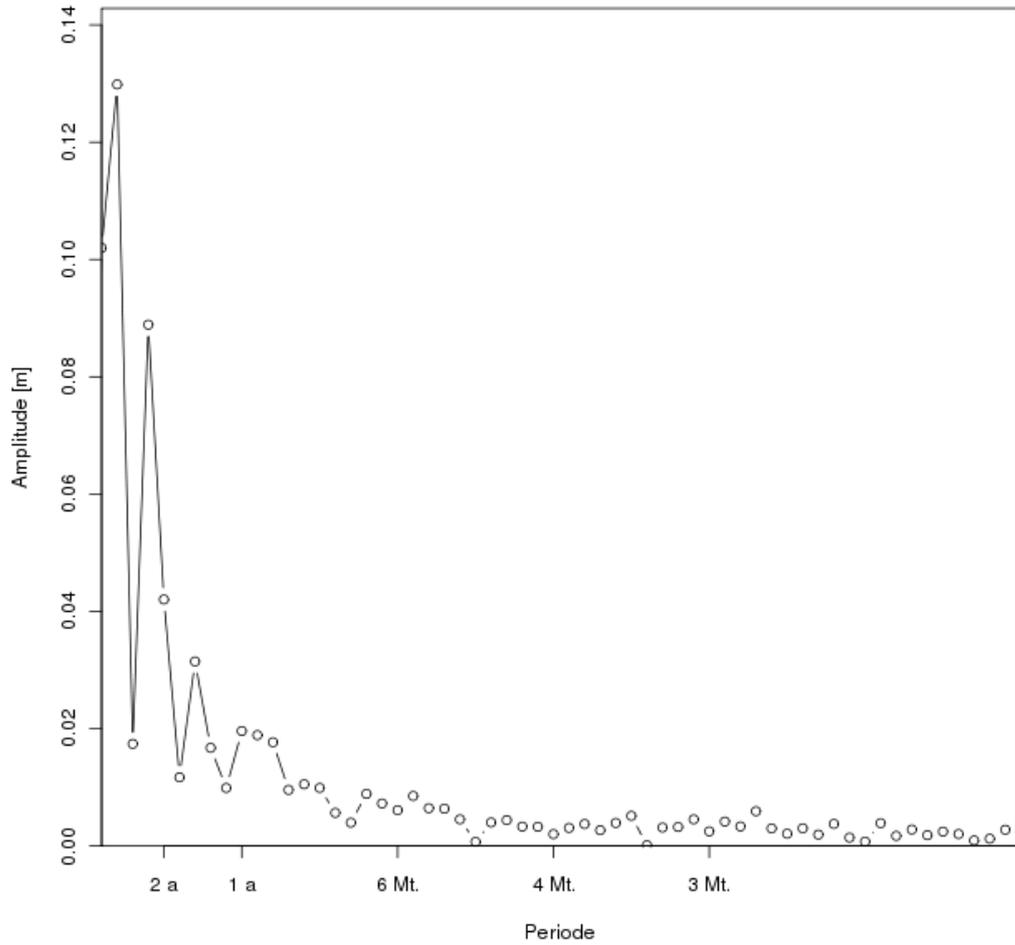


Abb. 4.74: Frequenzspektrum der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ für die GWM R7.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 155 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Zerlegung in stochastischen und periodischen Anteil

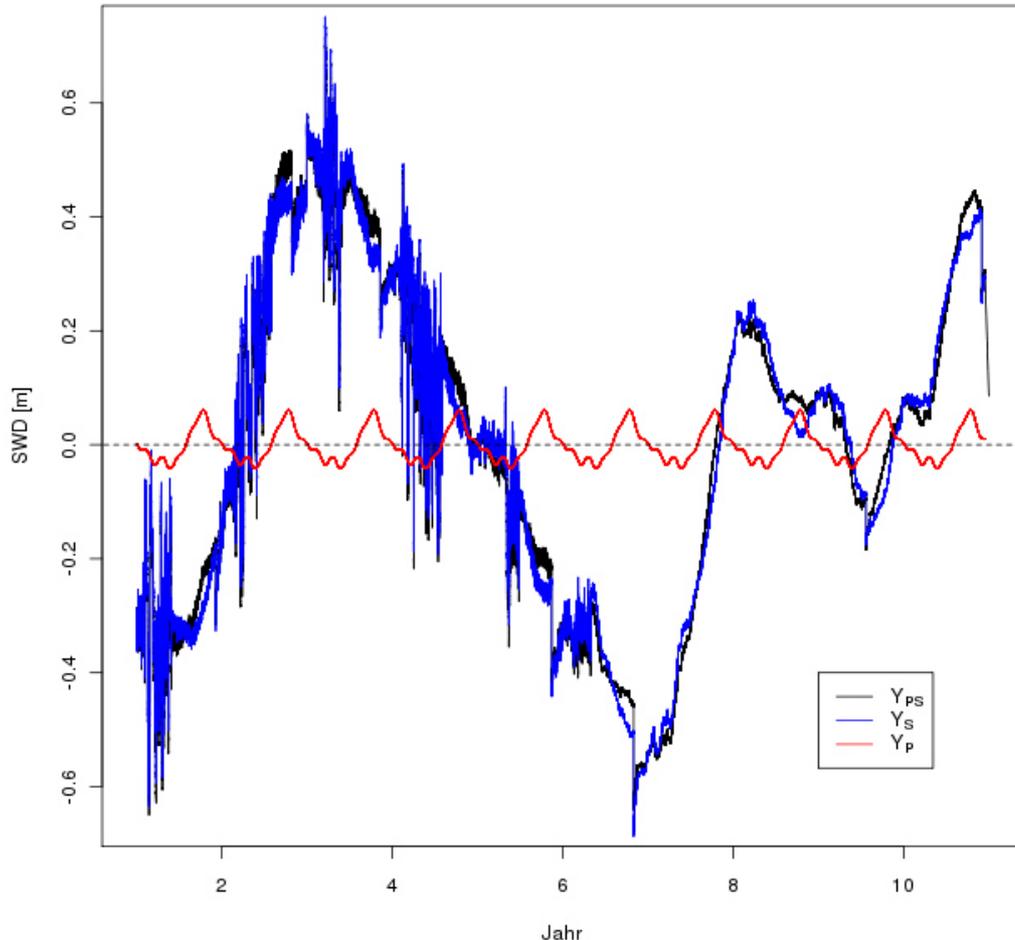


Abb. 4.75: Aufteilung der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ in den periodischen Anteil $y_P(t)$ und den stochastischen Anteil $y_S(t)$ gemäß Gl. (4.12) für die GWM R7.

4.4.5 Autokorrelationen

Mit Autokorrelationen wird ermittelt, ob und ggf. wie stark der Wert des stochastischen Anteils der Süßwasserdruckspiegelhöhe y_S zum Zeitpunkt t von früheren Werten von y_S abhängt. Eine Autokorrelation wird durch den zeitlichen Versatz parametrisiert, für den die Abhängigkeit untersucht wird. Dieser zeitliche Versatz wird als „Lag“ bezeichnet, in Gleichungen mit t_{lag} . Die Autokorrelation zum Lag t_{lag} , $R_{auto}(t_{lag})$, ist wie folgt definiert:

$$R_{auto}(t_{lag}) = \frac{E[(y_S(t_i) - \bar{y}_S) \cdot (y_S(t_i - t_{lag}) - \bar{y}_S)]}{\sigma^2_{yS}} \quad (4.13)$$

mit $E[]$ Erwartungswert über die mit dem Lag t_{lag} auswertbaren Wertepaare



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 156 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

zeitlicher Mittelwert von $y_s(t_i)$

Varianz von $y_s(t_i)$

Der zeitliche Mittelwert und die Varianz von $y_s(t_i)$ für die beiden GWM P16 und R7 sind in Tab. 4.8 aufgeführt.

Tab. 4.8: Zeitlicher Mittelwert und Standardabweichung des stochastischen Anteils $y_s(t_i)$ der Süßwasserdruckspiegelhöhe in den GWM P16 und R7 auf Basis der entsprechenden 15min-Werte

	GWM P16	GWM R7
(m)	-0,013	Betrag < 0,001
(m)	4,07	0,29

Für $t_{lag} = 0$ ist die Autokorrelation definitionsgemäß 1. Für Werte von t_{lag} , die kleiner sind als die Zeiten, während denen sich die Süßwasserdruckspiegelhöhe signifikant verändern kann, ist die Autokorrelation groß und nahe 1. Statistisch signifikant von 0 verschiedene Autokorrelationen für große Lags sind Hinweise auf langanhaltende Abhängigkeiten oder auf Periodizitäten (die von 1 a und Teilen davon abweichen).

Abb. 4.76 und Abb. 4.77 zeigen beispielhaft die Autokorrelationen der jeweiligen stochastischen Anteile der Süßwasserdruckspiegelhöhe als Funktion des Lags in den beiden GWM P16 und R7. Die Autokorrelationen fallen in beiden Messstellen für wachsenden Lag zunächst stetig ab.

In der GWM P16 wird der Autokorrelationswert 0,5 nach knapp 5 Monaten erreicht, der erste Vorzeichenwechsel erfolgt rechnerisch nach gut 11 Monaten (Abb. 4.76). Weiter unten wird ein Algorithmus dargelegt, mit dem aufgrund des Verlaufs der Autokorrelation als Funktion des Lags die Signifikanzgrenze der berechneten Autokorrelationskurve geschätzt werden kann. Für die GWM P16 ergibt sich gerundet $R_{sig} = 0,4$. Dies bedeutet, dass nur berechnete Autokorrelationswerte $\geq +0,4$ oder $\leq -0,4$ als mit hoher Konfidenz statistisch signifikant einzustufen sind und Werte vom Betrag $< 0,4$ statistisch nicht belastbar signifikant sind. Der stochastische Anteil der Süßwasserdruckspiegelhöhe in P16 zeigt somit bis zu einem Lag von 5,7 Monaten eine statistisch signifikante positive Autokorrelation und für längere Lags keine statistisch von Null verschiedene Autokorrelation ($R_{auto}(t_{lag}=5,7Mt) = 0,4$).



Bundesaamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 157 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Autokorrelation P16

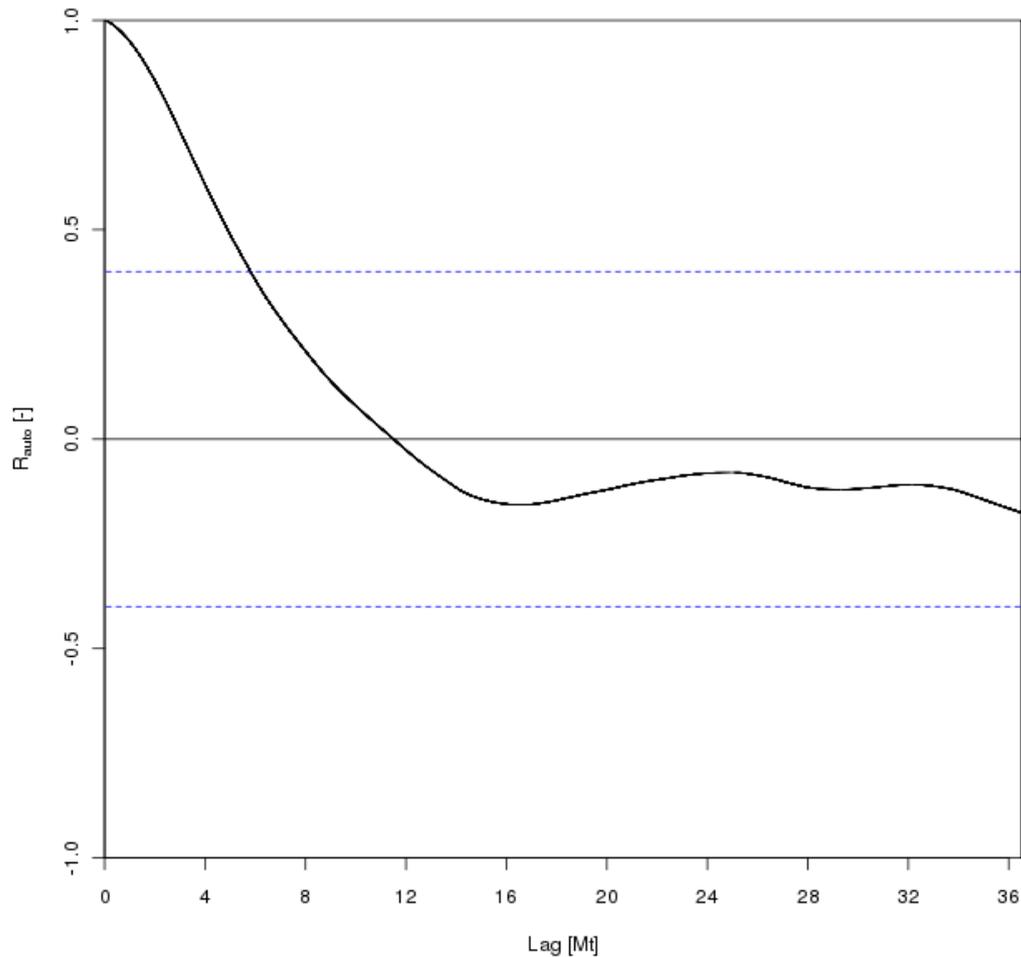


Abb. 4.76: Autokorrelation des stochastischen Anteils der Süßwasserdruckspiegelhöhe für die GWM P16. Die gestrichelte Linie zeigt die Signifikanzgrenze der Autokorrelation für diese GWM (vgl. Text).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 158 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Autokorrelation R7

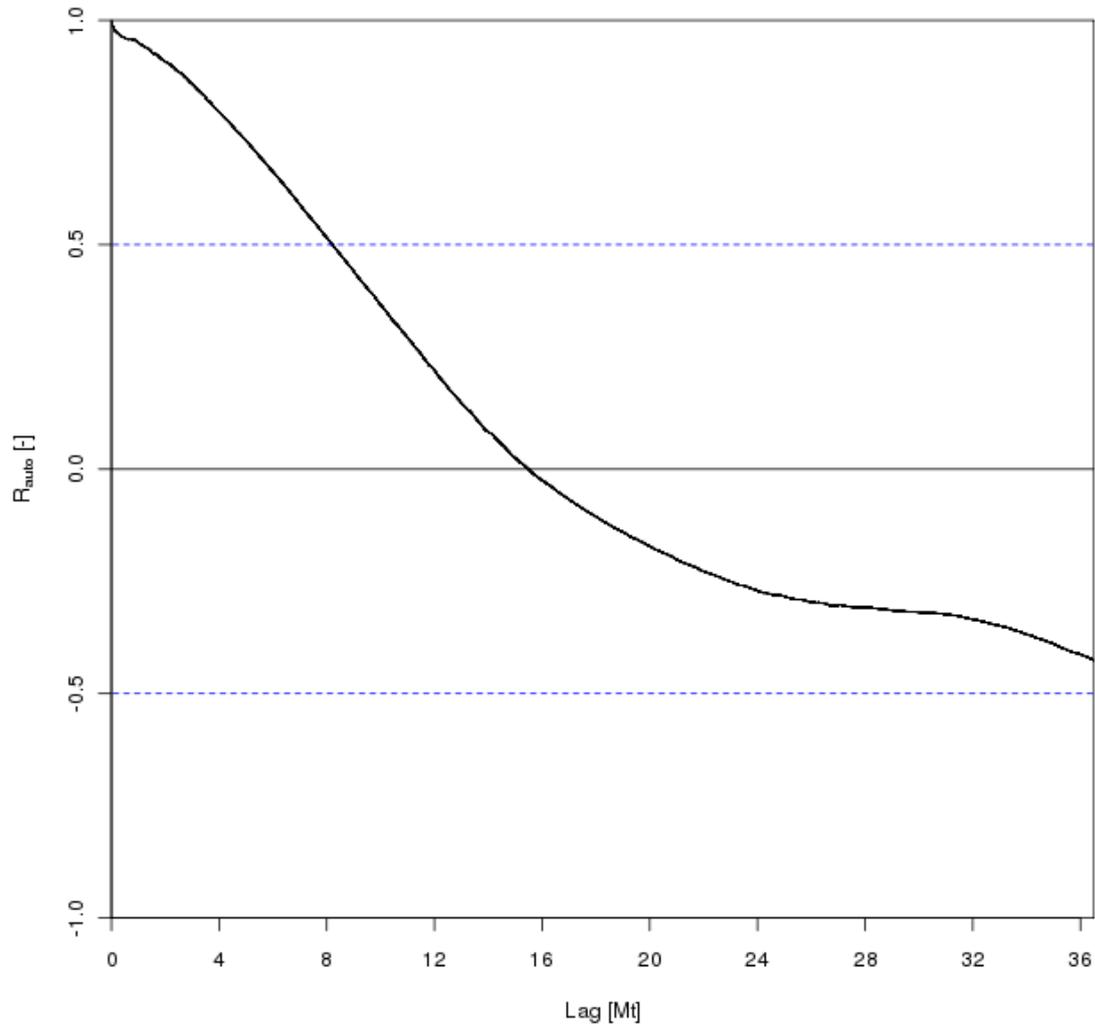


Abb. 4.77: Autokorrelation des stochastischen Anteils der Süßwasserdruckspiegelhöhe für die GWM R7. Die gestrichelte Linie zeigt die Signifikanzgrenze der Autokorrelation für diese GWM (vgl. Text).

In der GWM R7 ist der Verlauf der Autokorrelation qualitativ ähnlich, die zeitliche Reichweite der Autokorrelation jedoch länger als in P16: Der Wert 0,5 wird nach gut 8 Monaten erreicht, der erste Vorzeichenwechsel erfolgt rechnerisch nach etwa 15 Monaten (Abb. 4.77). Aufgrund der längeren zeitlichen Reichweite der Autokorrelation ist auch die Signifikanzgrenze etwas höher: Für die GWM R7 ergibt sich gerundet $R_{\text{sig}} = 0,5$. Der stochastische Anteil der Süßwasserdruckspiegelhöhe in R7 zeigt somit bis zu einem Lag von 8 Monaten eine statistisch signifikante positive Autokorrelation und für längere Lags keine statistisch von Null verschiedene Autokorrelation ($R_{\text{auto}}(t_{\text{lag}}=8\text{Mt}) = 0,5$).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 159 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

4.4.6 Statistische Signifikanz der berechneten Autokorrelationswerte

Die statistische Signifikanz von Korrelationskoeffizienten kann mit dem Student'schen t-Test ermittelt werden. Dieser Test geht von der so genannten Null-Hypothese aus. Im vorliegenden Fall lautet die Null-Hypothese für den Lag t_{lag} , dass die Werte $y_s(t_i)$ und $y_s(t_i - t_{lag})$ nicht korreliert sind. Auch wenn die Null-Hypothese zutrifft, wird die mit einer endlichen Stichprobe berechnete Autokorrelation i.d.R. nicht exakt null ergeben sondern entsprechend einer Wahrscheinlichkeitsverteilung von null abweichen. Aus dem berechneten Wert der Autokorrelation R_{auto} und der Anzahl der gegenseitig unabhängigen Wertepaare N in der Stichprobe, mit der die Berechnung der Autokorrelation gemäß Gl. (4.13) erfolgte, ergibt sich mit

$$t = R_{auto} \cdot \sqrt{\frac{N-2}{1-R_{auto}^2}} \quad (4.14)$$

die Prüfgröße t . Diese ist (unter hier plausibel vorauszusetzenden Annahmen) die Realisation einer t-verteilten Zufallsvariablen mit $N-2$ Freiheitsgraden, d.h. die aus der Stichprobe gemäß Gl. (4.14) berechnete Prüfgröße t weicht entsprechend der Student t-Verteilung zum Freiheitsgrad $N-2$ vom Wert 0 ab.

Für eine große Zahl an Freiheitsgraden entspricht die Student t-Verteilung in guter Näherung einer Normalverteilung mit Mittelwert 0 und Varianz 1. Für die hier interessierenden Anwendungen liegt eine große Zahl an Freiheitsgrade etwa für $N > 30$ vor.

Ausgehend von der Null-Hypothese lautet nun die Frage, in welchem Intervall um $t=0$ der aus einer Stichprobe ermittelte t-Wert mit einer vorgegebenen großen Wahrscheinlichkeit (z.B. 95 %) liegt, falls keine Korrelation vorliegt. Dieses Intervall wird mit $[-t_{sig}, +t_{sig}]$ bezeichnet. Für eine 95 %-Wahrscheinlichkeit ist $t_{sig} = t_{sig,95}$ in guter Näherung der 97,5-Perzentilwert der Student t-Verteilung zum Freiheitsgrad $N-2$. Bei einer großen Zahl an Freiheitsgraden und unter Verwendung der Normalverteilung als Näherung für die Student t-Verteilung beträgt $t_{sig,95} = 1,96 \approx 2$. Sofern die mit der Stichprobe berechnete Autokorrelation zu einem t-Wert führt, der außerhalb des Intervalls $[-t_{sig,95}, +t_{sig,95}]$ liegt, ist die Null-Hypothese deshalb mit einem Konfidenzgrad von 95 % zu verwerfen. Dies bedeutet, dass mit einem Konfidenzgrad von 95 % eine statistisch signifikante Autokorrelation ungleich null besteht. Damit ergibt sich folgende Aussage:

Der berechnete Wert der Autokorrelation R_{auto} für einen bestimmten Zeitversatz t_{lag} ist mit einer Konfidenz von 95 % statistisch signifikant von 0 verschieden, wenn $|R_{auto}(t_{lag})| \geq R_{sig}$ und R_{sig} die Lösung von

$$t_{sig95} = R_{sig} \cdot \sqrt{\frac{N-2}{1-R_{sig}^2}} \quad \text{d.h.} \quad (4.15)$$

$$R_{sig} = \frac{t_{sig95}}{\sqrt{N-2+t_{sig95}^2}} \quad \text{d.h.} \quad R_{sig} \approx \frac{2}{\sqrt{N+2}} \quad \text{für } N \geq \text{ca. } 30$$

ist, wobei N die Anzahl der gegenseitig unabhängigen Wertepaare ist, mit denen die Autokorrelation R_{auto} ermittelt wurde.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 160 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die nachfolgende praktische Anwendung dieses Kriteriums geht von der Annahme aus, dass zwei Wertepaare (y_{a1}, y_{b1}) und (y_{a2}, y_{b2}) als gegenseitig unabhängig im Sinne des Kriteriums zu betrachten sind, wenn keine Korrelation zwischen y_{a1} und y_{a2} oder zwischen y_{b1} und y_{b2} besteht¹. Es bezeichne t_{a1} den Zeitpunkt, der zum Wert y_{a1} gehört. Die Zeitpunkte t_{a2} , t_{b1} und t_{b2} sind analog definiert.

Die Süßwasserdruckspiegelhöhe in einer Messstelle ändert sich nur langsam. Messwerte, die in kurzem zeitlichem Abstand erhoben werden, sind deshalb stark korreliert: Wenn die erste Messung z.B. einen hohen Wert ergibt, wird auch eine kurz darauf folgende zweite Messung einen hohen Wert ergeben. Wenn somit zwei Wertepaare mit gleichem Lag betrachtet werden, die sehr nahe beieinander liegen, d.h. falls $|t_{a1}-t_{a2}| = |t_{b1}-t_{b2}|$ sehr klein ist im Vergleich mit der zeitlichen Reichweite der Korrelation der Süßwasserdruckspiegelhöhe, sind die zwei Wertepaare nicht als gegenseitig unabhängig einzustufen. Mit zunehmendem Abstand $|t_{a1}-t_{a2}|$ nimmt die gegenseitige Unabhängigkeit der zwei Wertepaare i.d.R. kontinuierlich zu; es gibt allerdings keine scharfe Trennung zwischen gegenseitig abhängigen und gegenseitig unabhängigen Wertepaaren.

Für die praktische Anwendung des mit Gl. (4.15) formulierten Signifikanzkriteriums ist deshalb festzulegen, nach welchem Kriterium zwei Wertepaare als gegenseitig unabhängig eingestuft werden, und damit, wie die Anzahl gegenseitig unabhängiger Wertepaare berechnet wird. Für die Bewertung der ermittelten Autokorrelationen (und sinngemäß der später ermittelten Kreuzkorrelationen) wird folgende Festlegung getroffen:

Zwei Wertepaare mit gleichem Lag, (y_{a1}, y_{b1}) und (y_{a2}, y_{b2}) , gelten im Sinne des o.g. Kriteriums als gegenseitig unabhängig, falls der zeitliche Abstand ihrer Erhebung $|t_{a1}-t_{a2}| = |t_{b1}-t_{b2}| \geq \Delta t_G$ mit $R_{\text{auto}}(\Delta t_G) = 0,5$.

Der mit dieser Festlegung ausgezeichnete Korrelationswert von 0,5 als Grenze zwischen „gegenseitig abhängigen“ und „gegenseitig unabhängigen“ Messungen wurde entsprechend der Standardliteratur gewählt.

Ausgehend von dieser Festlegung ergibt sich für die Berechnung der Signifikanzgrenze R_{sig} der nachfolgend beschriebene Algorithmus. Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden: (A) Die berechnete Autokorrelation fällt mit zunehmendem Lag nicht vom Wert 1 (für sehr kurze Lags) über den Wert 0,5 auf den Wert 0 und weiter auf einen Wert $< -0,5$ ab. (B) Die berechnete Autorrelation fällt mit zunehmendem Lag direkt auf einen Wert $< -0,5$ ab.

Es seien M_0 die Anzahl Messdaten und Δt das Zeitintervall zwischen den Messungen. Für die Darstellung des Algorithmus wird angenommen, dass die Datenreihe keine Lücken aufweist.

Fall (A): Es sei i_s die kleinste natürliche Zahl, für die $R_{\text{auto}}(i_s \cdot \Delta t) = 0,5$ gilt.

Fall (B): Es sei i_s die kleinste natürliche Zahl, für die $R_{\text{auto}}(i_s \cdot \Delta t) = -0,5$ gilt und $R_{\text{auto}}(t_{\text{lag}} \approx i_s \cdot \Delta t)$ mit zunehmendem t_{lag} von Werten $< -0,5$ wiederum auf Werte $> -0,5$ ansteigt

¹ Die eventuelle Existenz einer Korrelation innerhalb der Wertepaare, d.h. zwischen y_{a1} und y_{b1} oder zwischen y_{a2} und y_{b2} , ist Gegenstand der Untersuchung und nicht maßgebend für die Klassierung der beiden Wertepaare als gegenseitig unabhängig.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 161 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Messwerte, die um weniger als i_s Zeitintervalle Δt auseinander liegen, gelten damit als nicht gegenseitig unabhängig. Wenn sie um i_s oder um mehr als i_s Zeitintervalle auseinanderliegen, gelten sie als gegenseitig unabhängig. Eine Schätzung für die Anzahl Messdaten M_1 , die als gegenseitig unabhängig einzustufen sind, ist damit

$$M_1 \approx \left[\frac{M_0 - 1}{i_s} \right] + 1 \quad (4.16)$$

wobei [...] die größte ganze Zahl ist, die kleiner oder gleich dem Ausdruck in der Klammer ist. Für den Lag $t_{lag} = i \cdot \Delta t$ wird als plausible Schätzung für die Anzahl gegenseitig unabhängiger Wertepaare N_i angesetzt

$$N_i \approx \left[\frac{M_0 - i}{i_s} \right] \quad (4.17)$$

Für den speziellen Wert des Lags $t_{lag} = i_s \cdot \Delta t$, für den die Autokorrelation den Wert 0,5 aufweist, ist die geschätzte Anzahl gegenseitig unabhängiger Wertepaare N_{i_s}

$$N_{i_s} \approx \left[\frac{M_0 - i_s}{i_s} \right] \quad (4.18)$$

Mit Gl. (4.15) ergibt sich (für $N_{i_s} \geq \text{ca. } 30$) als provisorischer Wert für die Signifikanzgrenze $R_{sig, is}$ von $R_{auto}(i_s \cdot \Delta t)$

$$R_{sig, is} = \frac{2}{\sqrt{N_{i_s} + 2}} \quad (4.19)$$

Sofern $R_{sig, is}$ gemäß Gl. (4.19) kleiner als 0,5 und damit als $R_{auto}(i_s \cdot \Delta t)$ ist, kann die oben vorgenommene Festlegung $R_{auto} = 0,5$ als Grenze zwischen „gegenseitig abhängigen“ und „gegenseitig unabhängigen“ Messungen aufrechterhalten und $R_{sig, is}$ gemäß Gl. (4.19) als definitiver Schätzwert für die Signifikanzgrenze betrachtet werden. Sofern die Festlegung der Grenze bei 0,5 jedoch dazu führt, dass der Wert der Autokorrelation $R_{auto}(i_s \cdot \Delta t)$, der i_s und damit letztlich die Signifikanzgrenze bestimmt, selbst als statistisch nicht signifikant einzustufen ist, muss die Festlegung der Grenze angepasst werden: Ausgehend vom bisherigen Wert ist i_s sukzessive zu verkleinern, bis unter Verwendung der berechneten Autokorrelation in Abhängigkeit des Lags, $R_{auto}(t_{lag})$ und der Gln. (4.18) und (4.19) folgendes gilt: $R_{auto}(i_s \cdot \Delta t) = R_{sig, is}$. Dies ergibt als definitiven Schätzwert für die Signifikanzgrenze, $R_{sig, is}$, einen Wert $> 0,5$.

Für $i < i_s$, d.h. für relativ kleine Lags unterscheiden sich N_i und N_{i_s} höchstens um 1. Es erscheint deshalb angemessen, $R_{sig, is}$ auch als Schätzwert für die Signifikanzgrenze von $R_{auto}(i \cdot \Delta t)$, $i < i_s$ anzusetzen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 162 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Für größer werdende Lags, d.h. für $i > i_s$ und zunehmend, nimmt die geschätzte Anzahl gegenseitig unabhängiger Wertepaare gemäß Gl. (4.17) ab. Entsprechend steigt die Signifikanzgrenze von $R_{\text{auto}}(i \cdot \Delta t)$ mit zunehmendem $i > i_s$ kontinuierlich an, für $N_i \geq \text{ca. } 30$:

$$R_{\text{sig}i} = \frac{2}{\sqrt{N_i + 2}} \quad (4.20)$$

Der beschriebene Algorithmus für die näherungsweise Ermittlung der Signifikanzgrenze der berechneten Autokorrelationswerte wird nachfolgend illustrativ angewendet. In der GWM P16 fällt die Autokorrelation nach dem Lag von 4,9 Monaten unter den Wert von 0,5 (Abb. 4.76). Durch Erweitern des Klammersausdrucks in Gl. (4.18) mit Δt und mit der Dauer der analysierten Zeitreihe von 10 a ergibt sich $N_{i_s} = [(10 \text{ a} - 4,9 \text{ Mt}) / 4,9 \text{ Mt}] = 23$. Der 97,5-Perzentilwert der Student t-Verteilung zum Freiheitsgrad $N_{i_s} - 2 = 21$ ist $t_{\text{sig},95} = 2,08$. Mit Gl. (4.15) ergibt sich somit $R_{\text{sig},i_s} = 0,413$ und gerundet $R_{\text{sig},i_s} = 0,4$.

In der Messstelle R7 fällt die berechnete Autokorrelation beim Lag von 8,3 Monaten unter den Wert von 0,5 (Abb. 4.77). Die Anzahl unabhängiger Wertepaare für diesen Lag ist damit $N_{i_s} = [(10 \text{ a} - 8,3 \text{ Mt}) / 8,3 \text{ Mt}] = 13$. Der 97,5-Perzentilwert der Student t-Verteilung zum Freiheitsgrad $N_{i_s} - 2 = 11$ ist $t_{\text{sig},95} = 2,20$. Mit Gl. (4.15) ergibt sich somit $R_{\text{sig},i_s} = 0,553$. Damit ist der berechnete Autokorrelationswert von 0,5 für den Lag von 8,3 Monaten statistisch nicht belastbar, und i_s muss gemäß dem oben beschriebenen Iterationsprozess verringert werden. Für den Lag von 8,0 Monaten ergibt der Iterationsprozess $R_{\text{auto}}(i_s \cdot \Delta t = 8,0 \text{ Mt}) = R_{\text{sig},i_s} = 0,53$ und damit gerundet $R_{\text{sig},i_s} = 0,5$.

4.4.7 Kreuzkorrelationen mit Niederschlag und Luftdruck

Als nächster Schritt der statistischen Ganglinienanalyse wird jeweils die Kreuzkorrelation mit der Niederschlagsrate und dem Luftdruck ermittelt. Kreuzkorrelationen quantifizieren die Abhängigkeit einer Systemreaktion (hier die Süßwasserdruckspiegelhöhe in einer Messstelle) von einer Eingangsgröße (hier der Niederschlag oder der Luftdruck), wobei die Abhängigkeit für einen vorgegebenen zeitlichen Versatz (Lag) ermittelt wird. Da die Eingangsgröße saisonalen Schwankungen unterliegt, werden die Kreuzkorrelationen mit der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{\text{PS}}(t)$, d.h. einschließlich dem periodischen Anteil $y_{\text{P}}(t)$, und nicht mit dem stochastischen Anteil der Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{\text{S}}(t)$ ermittelt.

Es besteht eine enge Analogie zur Ermittlung der Autokorrelation (s.o.). Die Kreuzkorrelation der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe mit der Eingangsgröße X für den Lag t_{lag} wird mit $R_X(t_{\text{lag}})$ bezeichnet. X steht dabei für NS, wenn als Eingangsgröße die Niederschlagsrate, und für LD, wenn als Eingangsgröße der Luftdruck analysiert wird.

$$R_{X(t_{\text{lag}})} = \frac{E[(y_{\text{PS}}(t) - \bar{y}_{\text{PS}}) \cdot (x(t - t_{\text{lag}}) - \bar{x})]}{\sigma_{y_{\text{PS}}} \cdot \sigma_X} \quad (4.21)$$

mit $E[]$ Erwartungswert über die mit dem Lag t_{lag} auswertbaren Wertepaare

\bar{y}_{PS} zeitlicher Mittelwert der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{\text{PS}}(t)$



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 163 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- $\sigma_{y_{PS}}$ Standardabweichung der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t_i)$
- $x(t_j)$ Messwert für die Größe X zum Zeitpunkt t_j
- \bar{x} zeitlicher Mittelwert von $x(t_j)$
- σ_x Standardabweichung von $x(t_j)$

Für sehr kleine Werte von t_{lag} sind die Kreuzkorrelationen i.d.R. null, da das System Zeit benötigt, um auf den Einfluss von außen zu reagieren. Mit wachsendem t_{lag} steigen die Kreuzkorrelationen betragsmäßig an, sofern ein Einfluss besteht. Die lokalen Extrema einer Kreuzkorrelation als Funktion von t_{lag} charakterisieren die zeitliche Verzögerung, mit der die betrachtete Systemeigenschaft (hier die Süßwasserdruckspiegelhöhe in der bezeichneten Messstelle) auf Änderungen der Eingangsgröße reagiert.

Sofern sich die Einflussgröße X im Vergleich mit der Reaktionszeit des betrachteten Systems i.d.R. sehr rasch ändert, kann die Kreuzkorrelation mit den Kurzzeitwerten der Einflussgröße den kausalen Zusammenhang zwischen Einflussgröße und Systemreaktion nicht quantifizieren. Dies lässt sich am Beispiel des Zusammenhangs zwischen der sich rasch ändernden Niederschlagsrate und dem sich nur langsam ändernden Grundwasserpegel illustrieren: Der Niederschlag weist im Gebiet der Asse eine zeitliche Reichweite der Autokorrelation von weniger als einer halben Stunde auf, während die Süßwasserdruckspiegelhöhe an jeder Messstelle mindestens einige Stunden benötigt, um auf Niederschlagsereignisse zu reagieren. Die Berechnung der Kreuzkorrelation zwischen der Süßwasserdruckspiegelhöhe und dem Niederschlag mit Wertepaaren, die lediglich um etwas mehr als einer halben Stunde auseinanderliegen, kann den kausalen Zusammenhang – sofern er besteht – somit nicht wiedergeben: Die Änderung der Niederschlagsrate bewirkt von Messwert zu Messwert keine Änderung der Süßwasserdruckspiegelhöhe und die beiden Größen scheinen nicht korreliert zu sein. Für die Berechnung der Kreuzkorrelation sind deshalb zeitlich angemessen aggregierte Daten zu verwenden. Im Beispiel bedeutet dies, dass die Kreuzkorrelation der Süßwasserdruckspiegelhöhe nicht mit den Kurzzeitwerten des Niederschlags sondern mit den Mittelwerten des Niederschlags über einige Stunden bis wenige Tage zu ermitteln sind. Die Autoren des vorliegenden Berichts vermuten, dass eine Aggregation angemessen ist, wenn die Aggregationszeit etwas kürzer als die Reaktionszeit des Systems auf den betreffenden Einflussfaktor ist. Ohne Beweis schlagen die Autoren vor, als angemessene Aggregationszeit jene festzulegen, die den höchsten Wert für das erste Maximum der Kreuzkorrelation für $t_{lag} > 0$ ergibt.

Bei der nachfolgenden beispielhaften Berechnung der Kreuzkorrelation mit dem Niederschlag wird dieser Vorschlag nicht exakt umgesetzt. Stattdessen werden die Kreuzkorrelationen mit dem Niederschlag mit den Aggregationszeiten von 6 Stunden und von 1 Tag (24 h) ermittelt. Da das erste Maximum der Kreuzkorrelation bei beiden ausgewerteten Messstellen mit der Aggregationszeit von 24 h höher ausfällt, werden die Ergebnisse für diese Aggregationszeit wiedergegeben.

Die Reichweite der Autokorrelation des Luftdrucks am Standort Asse beträgt nach Auswertung der analysierten Zeitreihe 51 h. Nach den Ausführungen im nachfolgenden Kapitels 4.5 übersteigt dies i.a. die Reaktionszeit des Systems auf Änderungen des Luftdrucks, so dass keine Aggregation der Messdaten für die Ermittlung der Kreuzkorrelation zwischen Süßwasserdruckspiegelhöhe und Luftdruck erforderlich ist.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 164 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Kreuzkorrelation Ganglinie & Niederschlag

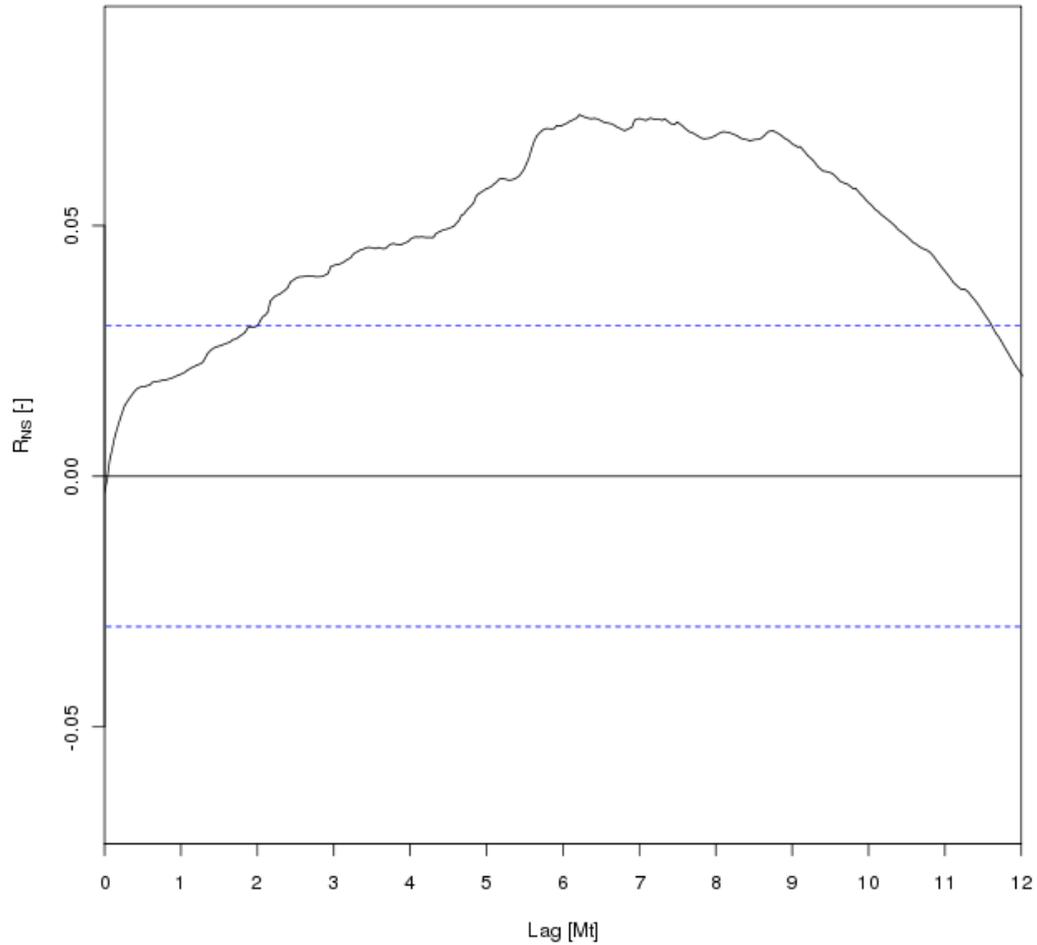


Abb. 4.78: Kreuzkorrelation der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ mit dem Niederschlag (Aggregationszeit 24 h) für die GWM P16. Die gestrichelte Linie zeigt die Signifikanzgrenze $R_{NS,sig} = 0,03$ (vgl. Text).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 165 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Kreuzkorrelation Ganglinie & Niederschlag

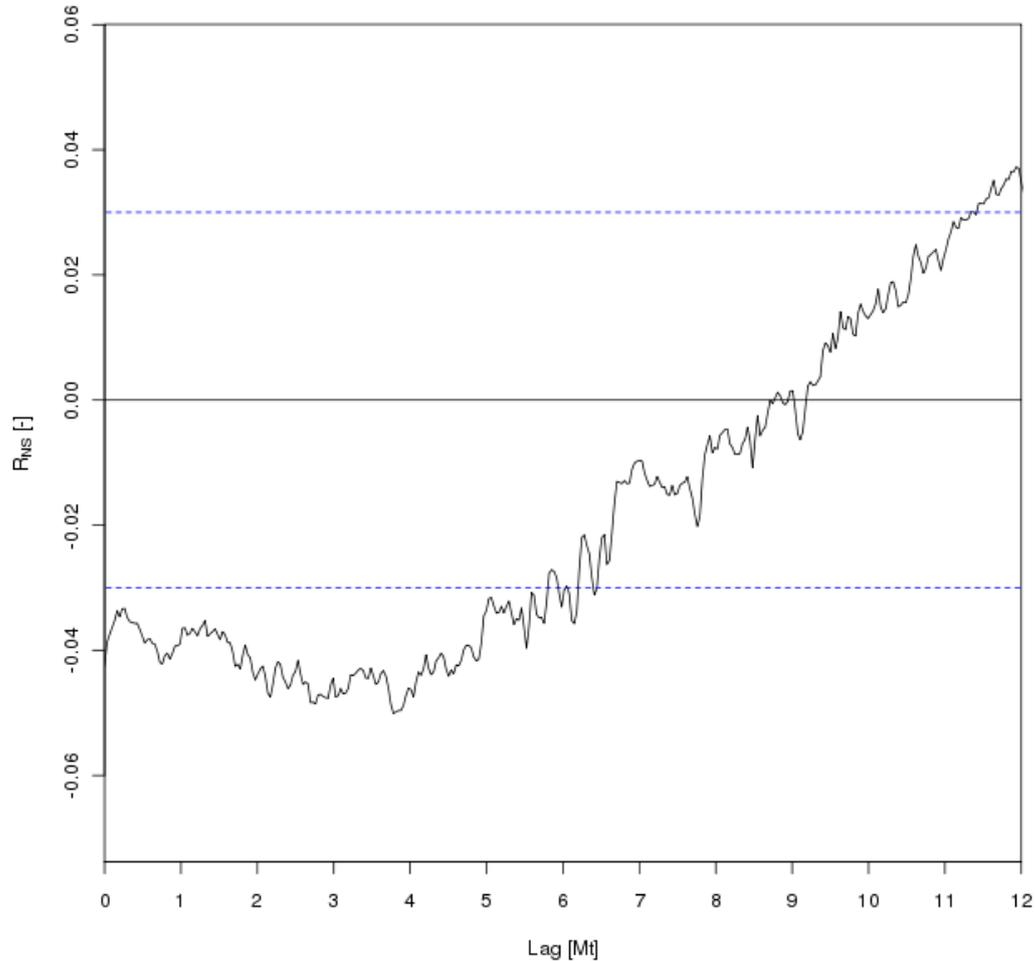


Abb. 4.79: Kreuzkorrelation der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ mit dem Niederschlag (Aggregationszeit 24 h) für die GWM R7. Die gestrichelte Linie zeigt die Signifikanzgrenze $R_{NS,sig} = 0,03$ (vgl. Text).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 166 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Kreuzkorrelation Ganglinie & Luftdruck

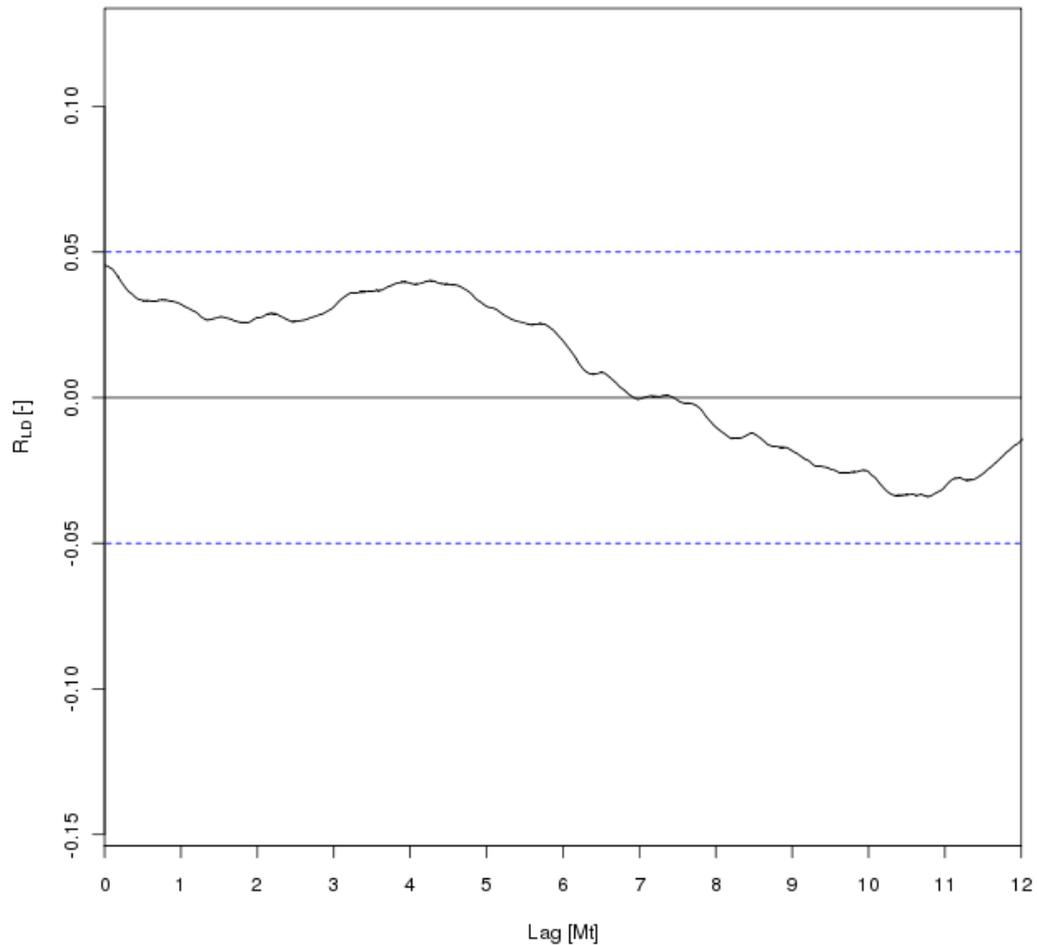


Abb. 4.80: Kreuzkorrelation der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ mit dem Luftdruck für die GWM P16. Die gestrichelte Linie zeigt die Signifikanzgrenze $R_{LD,sig} = 0,05$ (vgl. Text).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 167 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Kreuzkorrelation Ganglinie & Luftdruck

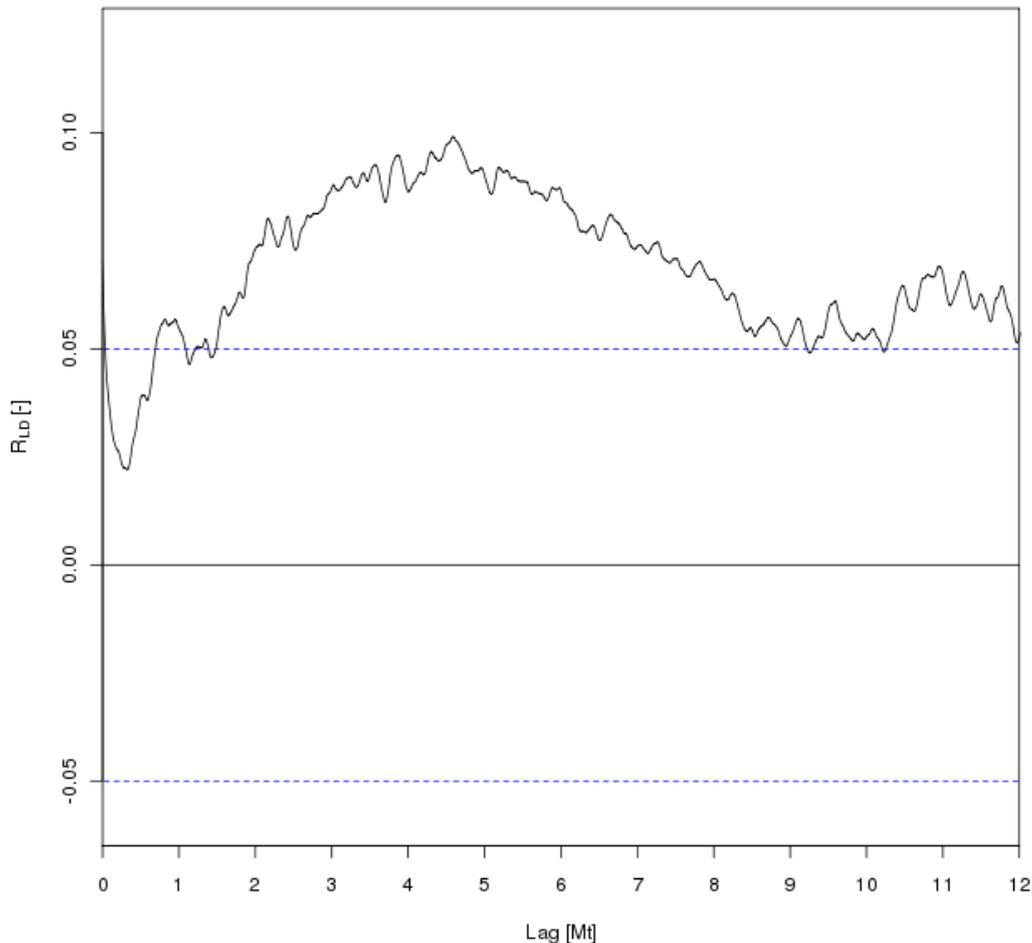


Abb. 4.81: Kreuzkorrelation der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe $y_{PS}(t)$ mit dem Luftdruck für die GWM R7. Die gestrichelte Linie zeigt die Signifikanzgrenze $R_{LD,sig} = 0,05$ (vgl. Text).

Abb. 4.78 bis Abb. 4.81 zeigen beispielhaft die Kreuzkorrelationen der trendbereinigten Süßwasserdruckspiegelhöhe in den GWM P16 und R7 mit dem Niederschlag und mit dem Luftdruck. Für die Beurteilung der statistischen Signifikanz der Ergebnisse kommen ähnliche Überlegungen wie bei der Autokorrelation zur Anwendung: Das Signifikanzkriterium für R_X , nachfolgend bezeichnet mit $R_{X,sig}$, ergibt sich ebenfalls nach Gl. (4.15), wobei N nun die Anzahl gegenseitig unabhängiger Wertepaare bei der Berechnung der Kreuzkorrelation R_X gemäß Gl. (4.21) ist. Das Kriterium für die Unabhängigkeit der Wertepaare ist analog zu jener bei der Autokorrelation: Die Wertepaare (y_{PS1}, x_1) und (y_{PS2}, x_2) sind gegenseitig unabhängig, falls keine Korrelation zwischen y_{PS1} und y_{PS2} oder zwischen x_1 und x_2 besteht. Der Algorithmus zur Berechnung von $R_{X,sig}$ für die Kreuzkorrelati-



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 168 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

on unterscheidet sich insofern von jenem für die Berechnung von R_{sig} für die Autokorrelation, oben zusammengefasst in den Gln. (4.17) bis (4.20), als die zeitlichen Korrelationsreichweiten¹ für die beiden Größen, aus denen die Wertepaare gebildet werden, i.d.R. nicht gleich sind. Nach der oben angeführten Definition von gegenseitig unabhängigen Wertepaaren bestimmt die Größe mit der kürzeren Korrelationsreichweite die Anzahl der unabhängigen Wertepaare. Damit ergibt sich der nachfolgend beschriebene Algorithmus für die Ermittlung der Signifikanzgrenze $R_{X,sig}$ für Kreuzkorrelationen.

- (1) In einem ersten Schritt wird – ggf. unter Verwendung der zeitlich aggregierten Daten – die zeitliche Reichweite der Autokorrelation sowohl für y_{PS} als auch für X ermittelt². Dies ergibt für beide Größen je einen Wert i_s . Es bezeichne $i_{s,min}$ den kleineren der beiden Werte.
- (2) Die Signifikanzgrenze $R_{X,sig,i}$ der Kreuzkorrelation zum Lag $t_{lag} = i \cdot \Delta t$, $R_X(t_{lag})$, wird mit den zu Gln. (4.17) bis (4.20) analogen Gleichungen ermittelt:

$$N_{X,i} \approx \left[\frac{M - \max(i, i_{s,min})}{i_{s,min}} \right] \quad (4.22)$$

$$R_{X,sig,i} \approx \frac{2}{\sqrt{N_{X,i} + 2}} \quad \text{für } N_{X,i} \geq \text{ca. } 30 \quad (4.23)$$

wobei im Falle einer erfolgten Aggregation der Messdaten die Größe Δt hier die Aggregationszeit und M_0 die Anzahl aggregierter Werte für y_{PS} und X bezeichnen.

Sowohl bei der Kreuzkorrelation mit dem Niederschlag als auch bei jener mit dem Luftdruck ist die zeitliche Reichweite der Autokorrelation der Einflussgröße X deutlich kürzer als jene der Süßwasserdruckspiegelhöhe. Beim Niederschlag mit der Aggregationszeit 24 h sind zwei aufeinanderfolgende Tagesmittelwerte gegenseitig nicht korreliert, d.h. $i_s = 1$. $N_{NS,1} = [(10 \text{ a} - 24 \text{ h}) / 24 \text{ h}] = 3649$. Dies ergibt als Signifikanzgrenze für die Kreuzkorrelationen mit dem Niederschlag für beide Messstellen $R_{NS,sig,1} = 0,03$. Bis zu einem Lag von 1 Jahr bleibt die Signifikanzgrenze gerundet gleich.

Die berechnete Kreuzkorrelation der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der Messstelle P16 mit dem Niederschlag zeigt mit wachsendem Lag einen Anstieg, einen Maximalwert und einen anschließenden Abfall auf statistisch nicht belastbare Werte (Abb. 4.78). Statistisch signifikante Korrelationswerte ergeben sich für Lags zwischen knapp 2 Monaten und etwa einem Jahr. Der Maximalwert der Kreuzkorrelation liegt mit etwa 0,07 zwar deutlich über der Signifikanzgrenze, er ist absolut aber relativ klein.

In der tiefen GWM R7 zeigt sich ein anderes Bild (Abb. 4.79): Zwischen dem Lag $t_{lag} = 0$ und dem Lag von etwa einem halben Jahr liegt die berechnete Kreuzkorrelation im negativen Bereich knapp

¹ Definiert durch $i_s \cdot \Delta t$ mit $R_{auto}(i_s \cdot \Delta t) = 0,5$ für den oben beschriebenen Fall (A).

² Die Berechnung der zeitlichen Reichweite der Autokorrelation erfolgt nach dem weiter oben beschriebenen Algorithmus für die Ermittlung der Signifikanzgrenze R_{sig} der Autokorrelation.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 169 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

jenseits der Signifikanzgrenze. Dies heißt, dass rechnerisch hohe Niederschlagsraten mit niedrigen Grundwasserständen verbunden sind. Ab etwa einem Lag von $\frac{3}{4}$ Jahren dreht das Vorzeichen der Korrelation um, und die Kreuzkorrelation liegt im positiven Bereich knapp oberhalb der Signifikanzgrenze. Dies gilt mindestens bis zu einem Lag von 2 Jahren. Da keine Ursache-/Wirkungsbeziehung für eine solche Reaktion der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der Messstelle R7 (in rund 800 m Tiefe im Unteren Muschelkalk) auf Niederschlagsereignisse bekannt ist und die berechnete Autokorrelation die Signifikanzgrenze nur wenig überschreitet, werden die berechneten Werte als statistisch nicht signifikant eingestuft. Für eine weitergehende Analyse wird empfohlen, zunächst die Kreuzkorrelation mit längeren Aggregationszeiten zu ermitteln.

Die zeitliche Reichweite der Autokorrelation des Luftdrucks beträgt am Standort Asse $t_{lag} = 51$ h. Als Schätzer für die Anzahl gegenseitig unabhängiger Wertepaare ergibt sich mit Gl. (4.22) $N_{LD, is} = [(10 a - 51 h) / 51 h] = 1716$. Die Signifikanzgrenze ist damit nach Gl. (4.23) für kurze Lags für beide Messstellen $R_{LD, sig} = 0,05$. Für einen Lag von 30 d ist die geschätzte Anzahl gegenseitig unabhängiger Wertepaare $N_{LD, 30d} = [(10 a - 30 d) / 51 h] = 1703$ und die Signifikanzgrenze gerundet ebenfalls 0,05.

Die Kreuzkorrelation zwischen der Süßwasserdruckspiegelhöhe und dem Luftdruck in der Messstelle P16 ist in Abb. 4.80 dargestellt. Es ergeben sich für keinen Lag statistisch signifikante Werte. Wiederum deutlich anders sind die Ergebnisse für die tiefe Messstelle R7 (Abb. 4.81): Nach einem rechnerisch signifikanten Wert bei $t_{lag} = 0$ fällt die Kreuzkorrelation auf statistisch nicht signifikante Werte ab und steigt für Lags größer als etwa ein halber bis ein Monat wiederum auf statistisch signifikante Werte an. Rechnerisch bleibt die Kreuzkorrelation mindestens bis zu einem Lag von einem Jahr statistisch signifikant. Da auch beim Zusammenhang zwischen der Süßwasserdruckspiegelhöhe und dem Luftdruck keine Ursache-/Wirkungsbeziehung mit einer Zeitverzögerung von rund 0,4 Jahren (Maximum der berechneten Kreuzkorrelation) bekannt ist, werden die berechneten Werte der Kreuzkorrelation trotz Überschreiten der ermittelten Signifikanzgrenze als nicht belastbar beurteilt.

4.4.8 Kreuzkorrelationen zwischen Messstellen

Nachfolgend werden die Kreuzkorrelationen zwischen dem stochastischen Anteil der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM P16 und jenem in den benachbarten GWM H6, H16 und R8 sowie der oben beispielhaft analysierten Messstelle R7 ermittelt. Das Vorgehen und die Algorithmen sind gleich wie bei den Kreuzkorrelationen mit dem Niederschlag und dem Luftdruck. In Abb. 4.82 und Abb. 4.83 sind beispielhaft die Kreuzkorrelationen zwischen den GWM P16 und R7 sowie zwischen GWM P16 und R8 dargestellt.

Die Signifikanzgrenze der Kreuzkorrelation zwischen den Süßwasserdruckspiegelhöhen zweier Messstellen hängt – entsprechend dem oben dargestellten Algorithmus zur Kreuzkorrelation mit externen Einflussgrößen – von der kürzeren zeitlichen Reichweite der Autokorrelationen der Ganglinien in den beiden Messstellen ab. Die zeitliche Reichweite der Autokorrelation $i_s \cdot \Delta t$ von P16 beträgt 4,9 Monate. Die zeitlichen Reichweiten der Autokorrelationen in den vier anderen Messstellen sind durchweg länger, und die sich daraus ergebenden Signifikanzgrenzen für die Kreuzkorrelation zwischen P16 und diesen Messstellen sind entsprechend gleich:



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 170 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

R7: $i_s \cdot \Delta t = 8,3$ Monate $R_{X, sig, is} = 0,4$
H6: $i_s \cdot \Delta t = 5,4$ Monate $R_{X, sig, is} = 0,4$
H16: $i_s \cdot \Delta t = 9,1$ Monate $R_{X, sig, is} = 0,4$
R8: $i_s \cdot \Delta t = 5,2$ Monate $R_{X, sig, is} = 0,4$

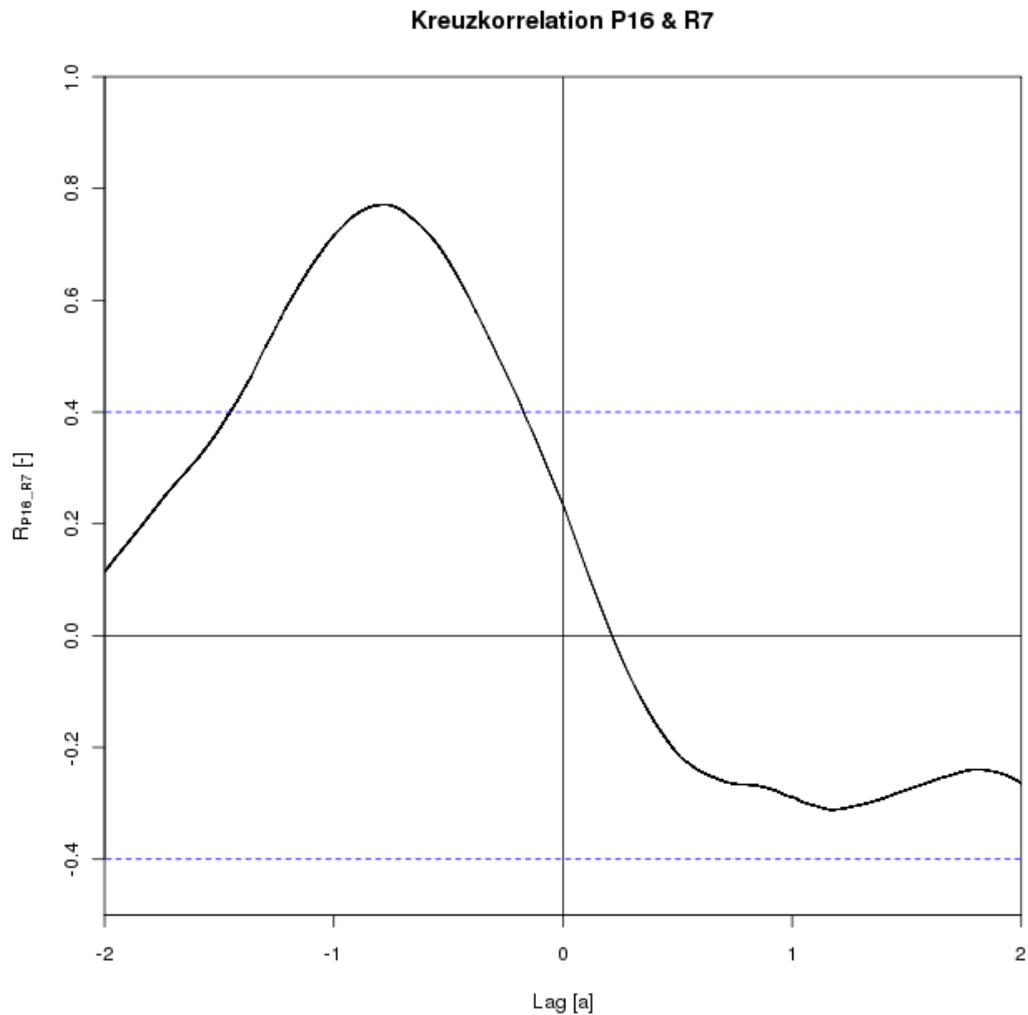


Abb. 4.82: Kreuzkorrelation zwischen den stochastischen Anteilen der Süßwasserdruckspiegelhöhen in den GWM P16 und R7. Die gestrichelte Linie zeigt die Signifikanzgrenze von 0,4.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 171 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Kreuzkorrelation P16 & R8

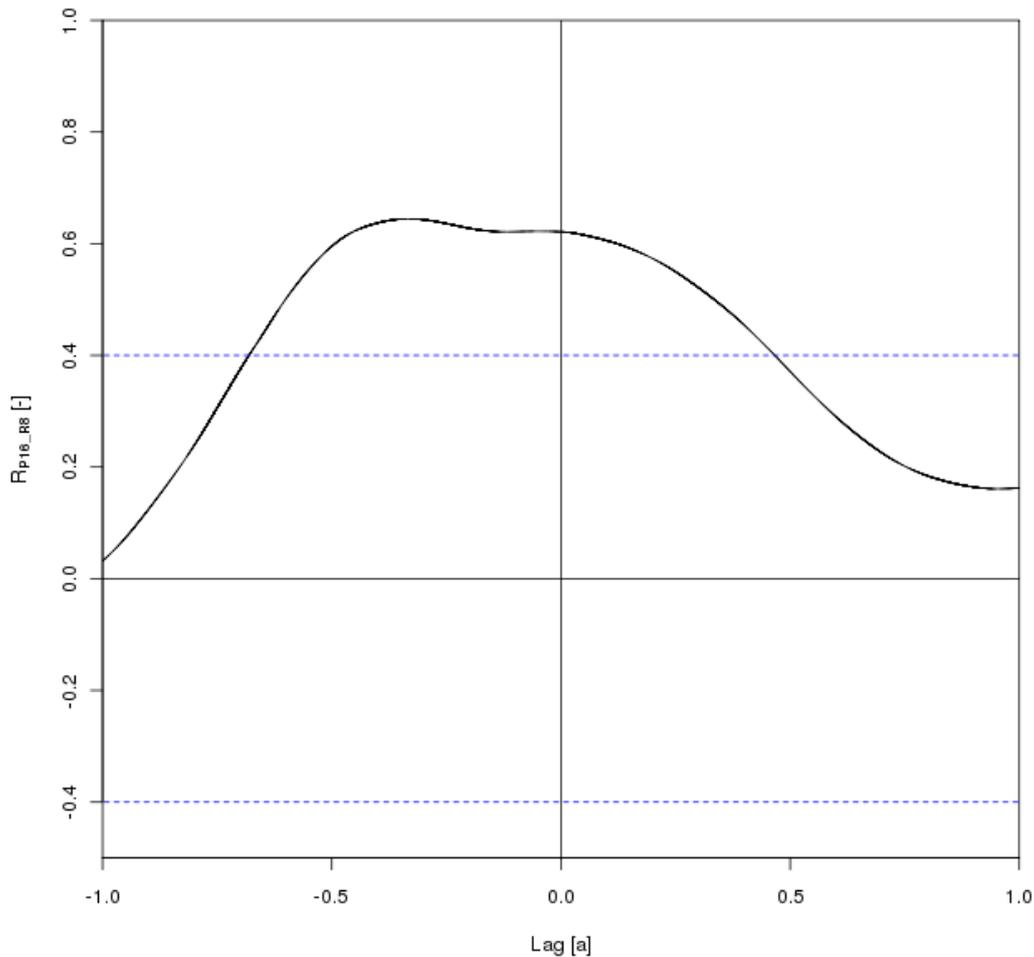


Abb. 4.83: Kreuzkorrelation zwischen den stochastischen Anteilen der Süßwasserdruckspiegelhöhen in den GWM P16 und R8. Die gestrichelte Linie zeigt die Signifikanzgrenze von 0,4.

Bei den Kreuzkorrelationen zwischen den GWM P16 und R7, sowie P16 und R8, fällt auf, dass jeweils eine hohe, positive, statistisch signifikant von null verschiedene Korrelation bei einem negativen Lag auftritt, flankiert von kontinuierlich mit zu- oder abnehmendem Lag abnehmender Korrelation bis in den statistisch nicht signifikant von Null verschiedenen Bereich. Das Maximum tritt in beiden Fällen bei einem deutlich negativen Lag auf, d.h. der Einfluss eines Ereignisses zeigt sich zuerst in der Ganglinie der oberflächennahen GWM P16 und erst später in den tiefergelegenen GWM R7 und R8. Für die GWM R7 befindet sich das Maximum bei einem Lag von ca. -9 Monaten und für R8 bei ca. -4 Monaten. Bei beiden Messstellen ist auffällig, dass keine weiteren lokalen Maxima bei einem Lag von ± 1 Jahr des Maximums zu erkennen sind. Dies lässt darauf schließen, dass die saisonalen Schwankungen bei dieser Analyse höchstens eine untergeordnete Rolle spielen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 172 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Bei der Kreuzkorrelation zwischen den Ganglinien der GWM P16 und R8 ist neben dem eigentlichen Maximum ein zweites, geringer ausgeprägtes Extremum zu erkennen das bei einem nur leicht negativen Lag auftritt. Dieses mögliche zweite Maximum könnte als Hinweis darauf interpretiert werden, dass die tiefe GWM R8 auf einem zweiten, deutlich schnelleren, Pfad von Ereignissen an der Oberfläche beeinflusst wird.

4.5 EINFLUSS VON LUFTDRUCKSCHWANKUNGEN

Durch die Änderung des Luftdrucks ändert sich die mechanische Auflast an der Geländeoberfläche. Im Untergrund, und damit auch in GW-Leitern, teilt sich diese Laständerung auf das Festphasengerüst und das Porenwasser auf. Im Festphasengerüst bewirkt diese Laständerung eine Spannungsänderung, im Porenwasser eine Druckänderung. Die Aufteilung hängt in erster Linie von der Steifigkeit des Festphasengerüsts ab (quantifiziert durch dessen Kompressionsmodul). In einer GWM, die mit einem Steigrohr ausgerüstet ist, überträgt sich die Luftdruckänderung unvermindert auf den Wasserdruck in der Filterstrecke. Sofern sich vor der Luftdruckänderung ein Druckgleichgewicht zwischen der Filterstrecke und dem umgebenden Grundwasserhorizont einstellen konnte, wird dieses Gleichgewicht durch die Luftdruckänderung gestört, es entsteht ein Ungleichgewicht. In der Folge setzt ein Grundwasseraustausch zwischen der Filterstrecke und dem umgebenden Grundwasserkörper ein, wodurch sich der Grundwasserspiegel im Standrohr und damit auch die Süßwasserdruckspiegelhöhe verändert.

Die Luftdruckschwankungen decken – auch nach Elimination von Extremwerten – noch eine Bandbreite von mehreren 10 hPa ab. Eine Druckänderung von 10 hPa entspricht einer Änderung der Süßwasserdruckspiegelhöhe von 10 cm. Luftdruckschwankungen beeinflussen damit die Wasserspiegel in den Messstellen in beobachtbarem, wenn auch nicht in dominantem Ausmaß.

Der Zusammenhang zwischen beobachtbaren Spiegeländerungen in Grundwassermessstellen (ausgerüstet mit einem Steigrohr), d.h. Änderungen der Standrohrspiegelhöhe gemäß Abb. 4.1, und Luftdruckänderungen ist in Anhang C dargestellt. Es wird dort auch dargelegt, dass Wasserspiegeländerungen zeitlich verzögert gegenüber den ursächlichen Luftdruckänderungen auftreten und dass die Zeitverzögerung sowohl von der Eigenschaft der Grundwassermessstelle (Messstellen-Speichereffekte / wellbore storage effects, Skin-Effekte) als auch von den Eigenschaften des Grundwasserkörpers und dessen Überdeckung abhängt. Dies hat folgende Konsequenzen:

- (i) Die Analyse des Zusammenhangs zwischen Wasserspiegeländerungen und Luftdruckschwankungen kann interessante Zusatzinformationen zum angeschlossenen Grundwasserkörper liefern (u.a. gespannter oder ungespannter Grundwasserkörper bzw. Grad der Gespanntheit, spezifischer Speicherkoefizient).
- (ii) Wegen der kontinuierlich auftretenden Luftdruckänderungen und der zeitverzögerten Reaktion des Grundwasserspiegels erfordert die Analyse einen speziellen Algorithmus und den Einsatz eines Rechners.

Für die Analyse konnten zwei frei zugängliche Rechenprogramme identifiziert und beschafft werden. Das eine dieser Programme ist BETCO [Sandia 2005]. Wie im Anhang C dargelegt wird, darf



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 173 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

begründet vermutet werden, dass die von BETCO ermittelte Funktion „cumulative response versus lag-time“ (Bezeichnung in [Sandia 2005]) bzw. „step response function“ (Bezeichnung in [Toll & Rasmussen 2007]) der Größe $BE(\tau)$ gemäß Anhang C Gln. (C-16) und (C-29) entspricht. Mit KGS_BRF steht ein zweites, frei zugängliches Programm zur Verfügung [KGS 2011]. Dieses liefert exakt die gleichen Ergebnisse, so dass davon auszugehen ist, dass es den gleichen Algorithmus wie BETCO verwendet.

Nachfolgend werden die Ergebnisse von BETCO bzw. KGS_BRF für die vier Grundwassermessstellen H3 (*su*), P16 (*mu*), PN2-TP (*mu*) und R6 (*mu*) gezeigt und kurz diskutiert. Die Ergebnisse beruhen auf den Zeitreihen für die 2-monatige niederschlagsarme Periode vom 01.03.2011 bis 01.05.2011.

GWM H3 (*su*, NE-Flanke)

Die Größe $BE(\tau)$ für die Messstelle H3 ist in Abb. 4.84 dargestellt. Die Filterstrecke dieser GWM verläuft im Rogenstein des Unteren Buntsandstein in der Nordflanke und ist mit 55 m relativ lang, sie liegt aber nur teilweise unter dem Grundwasserspiegel. Die Transmissivität, gegeben durch die Länge der Filterstrecke unterhalb des Grundwasserspiegels und den mittleren k_f -Wert des Rogenstein, ist mit $8,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ sehr hoch. Es ist deshalb einleuchtend, dass $BE(\tau)$ keine Messstellen-Speichereffekte zeigt. Nachdem die Messstelle aber im Bereich des Grundwasserspiegels im hoch durchlässigen, steil stehenden Rogenstein liegt, sollte $BE(\tau)$ die Charakteristik eines ungespannten GW-Leiters aufweisen. Mit etwas gutem Willen ist ein Abfall während der ersten zwei Stunden erkennbar. Allerdings erfolgt der Abfall nicht gegen den Wert 0, wie er für einen ungespannten GW-Leiter auftreten sollte. Sofern der anfängliche Abfall von $BE(\tau)$ als interpretierbar eingestuft wird, kann als charakteristische Zeit für den Ausgleich des Luftdrucks in der ungesättigten Zone oberhalb des Grundwasserspiegels $t_{V, \text{char}}$ (vgl. Kapitel C.3.1 in Anhang C) rund 1,5 h angesetzt werden. Mit Gl. (C-14) und der Mächtigkeit der ungesättigten Zone $H_V = 60 \text{ m}$ ergibt sich für die hydraulische Gasphasen-Diffusionskonstante $D_{DL} \approx 0,33 \text{ m}^2/\text{s}$. Für eine Porosität in der ungesättigten Zone von 10 % und einer relativen Gaspermeabilität zwischen 0,1 und 1 ergibt sich nach den Ausführungen in Kapitel C.3.1 des Anhangs C eine Permeabilität des ungesättigten Bereichs zwischen $7 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$ und $7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$. Unter süßwassergesättigten Verhältnissen entspricht dies einem k_f -Wert zwischen $7 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ und $7 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. Dies ist eine knappe Größenordnung höher als der mit einem hydraulischen Test ermittelte k_f -Wert von $4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$. Angesichts der ungewissen Datenbasis kann dieses Ergebnis als Indiz dafür gewertet werden, dass der anfängliche Abfall von $BE(\tau)$ physikalisch bedingt sein kann.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 174 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

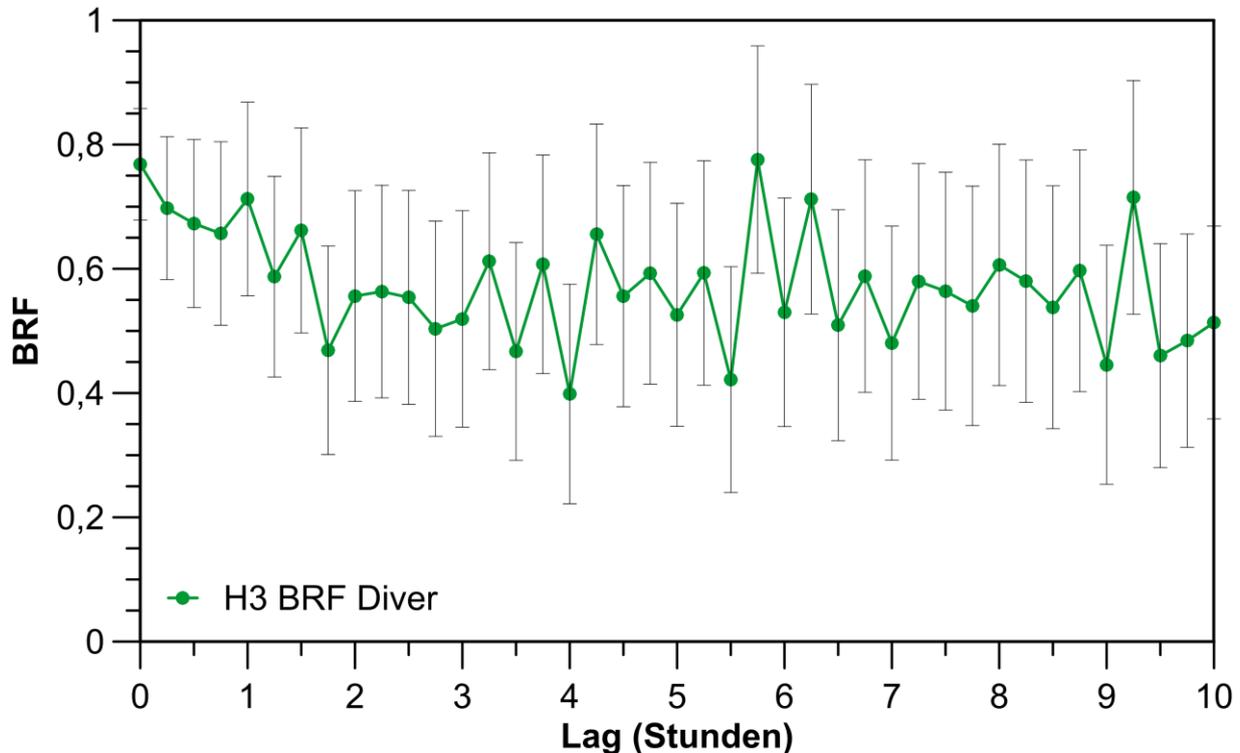


Abb. 4.84: Barometrischer Einfluss $BE(\tau)$ in der GWM H3 (Diver-Druckaufnehmer) berechnet für den Zeitraum vom 01.03. bis zum 01.05.2011. Die grauen Balken geben den Standardfehler (1σ) der abgeschätzten Funktion an; der lineare Trend wurde vor der Berechnung der BRF von den Daten abgezogen.

GWM P16 (μ , SW-Flanke)

Die Größe $BE(\tau)$ für die Messstelle P16 zeigt in Abb. 4.85 das klassische Verhalten einer Messstelle in einem gespannten GW-Leiter mit Messstellen-Speichereffekt (vgl. Anhang C). Dies ist ein etwas überraschendes Ergebnis und muss deshalb mit Vorsicht entgegengenommen werden: Die Filterstrecke reicht von rund 23 m bis rund 80 m und verläuft durchweg im Unteren Muschelkalk. Das Bohrprofil zeigt lediglich 5 m Mergel des Mittleren Muschelkalk zwischen dem Unteren Muschelkalk und der quartären Überdeckung. Angesichts des allgemein steilen Einfallens der Schichten kann das gespannte Verhalten der Messstelle – sofern sie reell ist – am ehesten mit der Zerblockung des Muschelkalk erklärt werden. Sofern der Stabilisierungswert von $BE(\tau) = 0,35$ als physikalisch ausgewertet werden darf, können unter Verwendung von Gl. (C-12) aus Anhang C und mit den Werten für die Matrixporosität von 6 % (typischer Wert) und 30 % (hoher Wert) folgende Werte für den spezifischen Speicherkoeffizienten des Unteren Muschelkalk in der Umgebung der Filterstrecke von P16 abgeleitet werden: typischer Wert $S_s = 7 \cdot 10^{-7} \text{ m}^{-1}$, hoher Wert $S_s = 4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1}$.

Der Messstellen-Speichereffekt zeigt eine charakteristische Zeit von rund 1 Stunde. Angesichts des geringen Rohrdurchmessers von 80 mm und der relativ hohen Transmissivität von $T = 5,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, die sich aus dem hydraulischen Test in der relativ langen Filterstrecke ergibt, ist die-



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 175 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

se charakteristische Zeit relativ lange. Der in Kapitel C.4 (Anhang C) beschriebene Näherungsalgorithmus lässt eine charakteristische Zeit im Bereich von etwa 10 min. bis 20 min. erwarten. Diese Diskrepanz deutet auf einen wirksamen Skin-Effekt hin, d.h. auf eine Verminderung der hydraulischen Durchlässigkeit im Grenzbereich zwischen Filterstrecke und umgebendem Grundwasserbereich durch Einflüsse des früheren Bohrvorgangs, der durchgeführten Tests, der Errichtung der Grundwassermessstelle oder des Betriebs der Grundwassermessstelle.

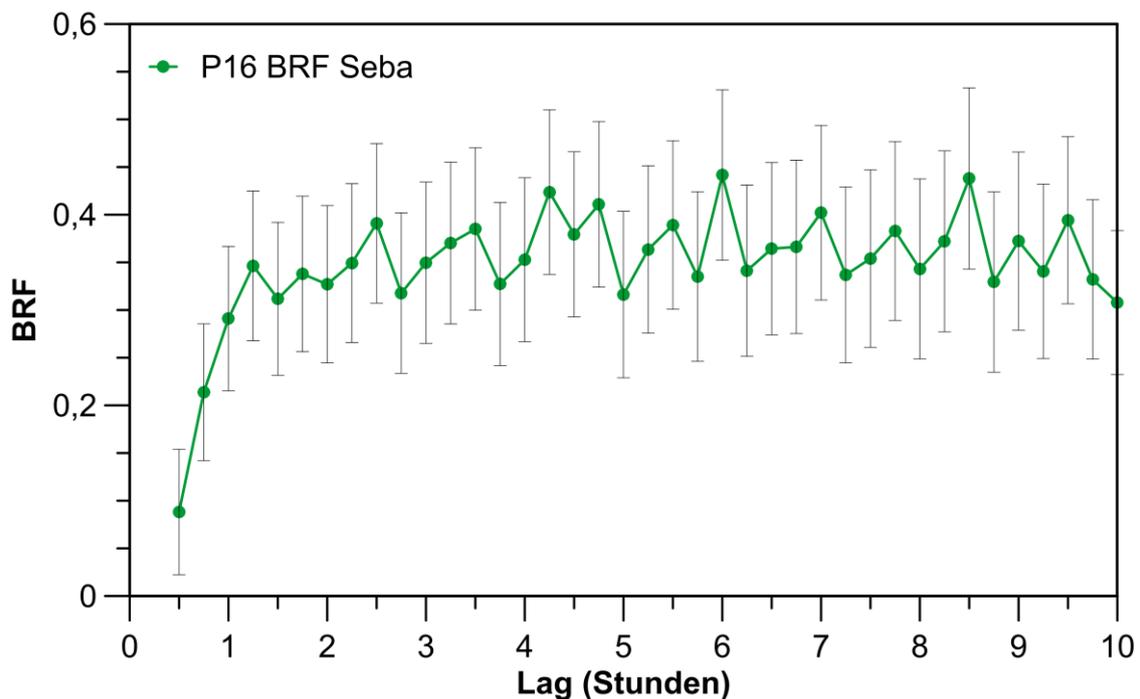


Abb. 4.85: Barometrischer Einfluss $BE(\tau)$ in der GWM P16 (Seba-Druckaufnehmer) berechnet für den Zeitraum vom 01.03. bis zum 01.05.2011. Die grauen Balken geben den Standardfehler (1σ) der abgeschätzten Funktion an; der lineare Trend wurde vor der Berechnung der BRF von den Daten abgezogen.

GWM PN2 (TP: *mu*, SW-Flanke)

Auf den ersten Blick sieht der Verlauf von $BE(\tau)$ für den Tiefpegel in GWM PN2 in Abb. 4.86 sehr ähnlich aus wie jener für die GWM H3. Allerdings zeigt er nach einem anfänglichen schwachen Abfall für einen Lag von etwas mehr als 4 Stunden einen erneuten Anstieg mit zunehmendem Lag. Ein solcher Verlauf ist atypisch. Angesichts der kurzen Filterstrecke (10 m) und der erwarteten hydraulischen Durchlässigkeit des Unteren Muschelkalk in der Tiefe der Filterstrecke ca. 230 m unter Geländeoberfläche im Bereich von etwa $3 \cdot 10^{-7}$ m/s wäre ein anfänglicher Anstieg von $BE(\tau)$ während etwa 1 bis 2 Stunden aufgrund von Messstellen-Speichereffekten zu erwarten. Da für den Tiefenpegel von GWM PN2 keine hydraulischen Testergebnisse vorliegen, kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass aufgrund einer außergewöhnlich hohen hydraulischen Leitfähigkeit des Unteren Muschelkalk in der Umgebung des Tiefenpegels von PN2 die Messstellen-



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 176 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Speichereffekte vernachlässigbar gering sind. Aufgrund des atypischen Verlaufs von $BE(\tau)$ für den Tiefpegel in PN2 wird auf eine weitergehende Analyse verzichtet.

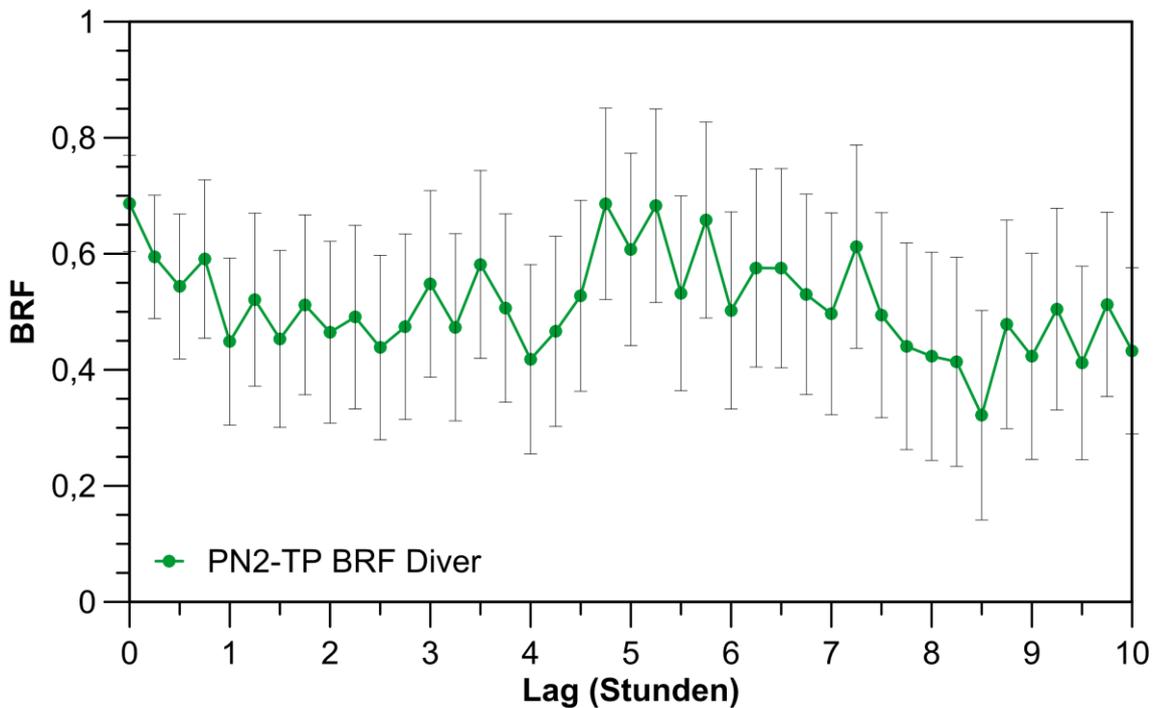


Abb. 4.86: Barometrischer Einfluss $BE(\tau)$ in der GWM PN2-TP (Diver-Druckaufnehmer) berechnet für den Zeitraum vom 01.03. bis zum 01.05.2011. Die grauen Balken geben den Standardfehler (1σ) der abgeschätzten Funktion an; der lineare Trend wurde vor der Berechnung der BRF von den Daten abgezogen.

GWM R6 (μ , SW-Flanke)

Die Größe $BE(\tau)$ für die Messstelle R6 zeigt bei geringen statistischen Standardabweichungen der Ergebnisse ein sehr atypisches Verhalten (Abb. 4.87): Ausgehend vom Wert 0 beim Lag 0 fällt $BE(\tau)$ zunächst geringfügig, jedoch statistisch signifikant auf negative Werte ab. Nach den in Anhang C dargelegten theoretischen Überlegungen kann $BE(\tau)$ jedoch keine negativen Werte annehmen. Anschließend steigt $BE(\tau)$ für weiter zunehmenden Lag langsam auf einen Maximalwert an und fällt für noch größere Werte des Lag wieder ab. Dieses Verhalten wäre typisch für einen ungespannten GW-Leiter. Der Anstieg mit einer charakteristischen Zeit von etwa 3 Stunden ist allerdings sicher zu langsam für den Druckausgleich in der Wasserphase (vgl. $t_{h, \text{char}}$ in Kapitel C.3.2 und speziell Abb. C.2 in Anhang C). Der Anstieg ist angesichts der relativ hohen Transmissivität, die durch die Filterstrecke definiert wird, auch nicht plausibel durch Messstellen-Speichereffekte zu erklären. Zudem fällt bei einem ungespannten GW-Leiter die Größe $BE(\tau)$ nach Erreichen des Maximalwerts gegen den Wert 0 ab. Dieses Verhalten zeigt $BE(\tau)$ nach Abb. 4.87 in der Grundwassermessstelle R6 nicht. Auf den Versuch einer weitergehenden Interpretation der Ergebnisse für R6 wird deshalb hier verzichtet.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 177 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

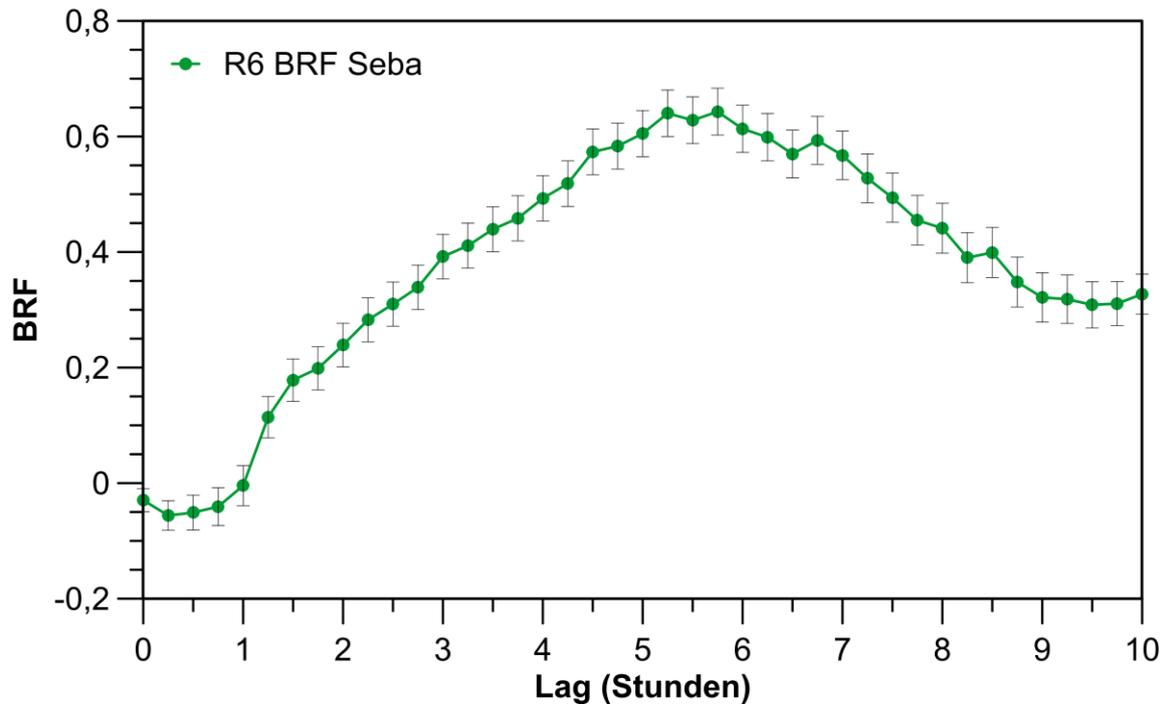


Abb. 4.87: Barometrischer Einfluss $BE(\tau)$ in der GWM R6 (Seba-Druckaufnehmer) berechnet für den Zeitraum vom 01.03. bis zum 01.05.2011. Die grauen Balken geben den Standardfehler (1σ) der abgeschätzten Funktion an; der lineare Trend wurde vor der Berechnung der BRF von den Daten abgezogen.

4.6 EINFLUSS VON GEZEITENKRÄFTEN

Die periodischen Änderungen der Gezeitenkräfte deformieren das Gestein elastisch und erzeugen dabei Porendruckänderungen in einem GW-Leiter [Kümpel 1997]. Die Reaktion eines GW-Leiters auf diese Kräfte lässt dabei unter idealen Bedingungen, wie geringe Kompressibilität der Gesteinsmatrix oder gespannte Verhältnisse, Rückschlüsse auf den Grad der Gespanntheit zu und u.U. auch auf seine integrale hydraulische Leitfähigkeit (Transmissivität).

Bei Messstellen mit Kontakt zum ungesättigten Bereich oder solchen mit Gasgehalt im Porenraum treten keine derartigen Porendruckänderungen auf, da die gute Kompressibilität einer Gasphase diese Reaktionen verhindert. Ist dagegen ein Einfluss von Gezeitenkräften vorhanden, ist das System Messstelle-Grundwasserkörper ein sensibler „Detektor“ für Änderungen im Grad der Gespanntheit, der Transmissivität und der Spannung im umgebenden GW-Leiter.

Neben dem Einfluss von Luftdruckschwankungen auf den Wasserspiegel, weisen mehrere Messstellen des Asse-Höhenzuges (vgl. Tab. 4.4) tägliche- bis halbtägige Schwankungen der Süßwasserdruckspiegelhöhe mit Amplituden von mehreren Zentimetern auf. Diese können möglicherweise auf den Einfluss von Gezeitenkräften [Kümpel 1997] oder anderen Faktoren, wie z.B. Evapotranspiration [Gribovszki et al. 2010], zurückgeführt werden. Um eine mögliche Korrelation der



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 178 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Gezeitenkräfte mit Schwankungen der Süßwasserdruckspiegelhöhe festzustellen, und diese von anderen potentiellen Einflussfaktoren zu unterscheiden, wurde ein hochauflösender grafischer Vergleich der Grundwasserganglinie mit den Werten der Gezeitenbeschleunigung am Standort Asse durchgeführt.

Zu diesem Zweck wurden für den Standort des Schacht Asse 2 (Koordinaten: ⁴⁴09053,9 und ⁵⁷78172,4 sowie Messpunkthöhe 190 mNN) die entsprechenden Werte der Gezeitenbeschleunigung für die hydrologischen Jahre 2010 und 2011 mit dem Programm TSoft nach [Van Camp & Vauterin 2005] berechnet. Diese Werte wurden dann zusammen mit den Ganglinien der jeweiligen Messstellen graphisch dargestellt. Beispielhaft ist dies für die GWM PN2-TP in Abb. 4.88 und für GWM R6 in Abb. 4.89 gezeigt.

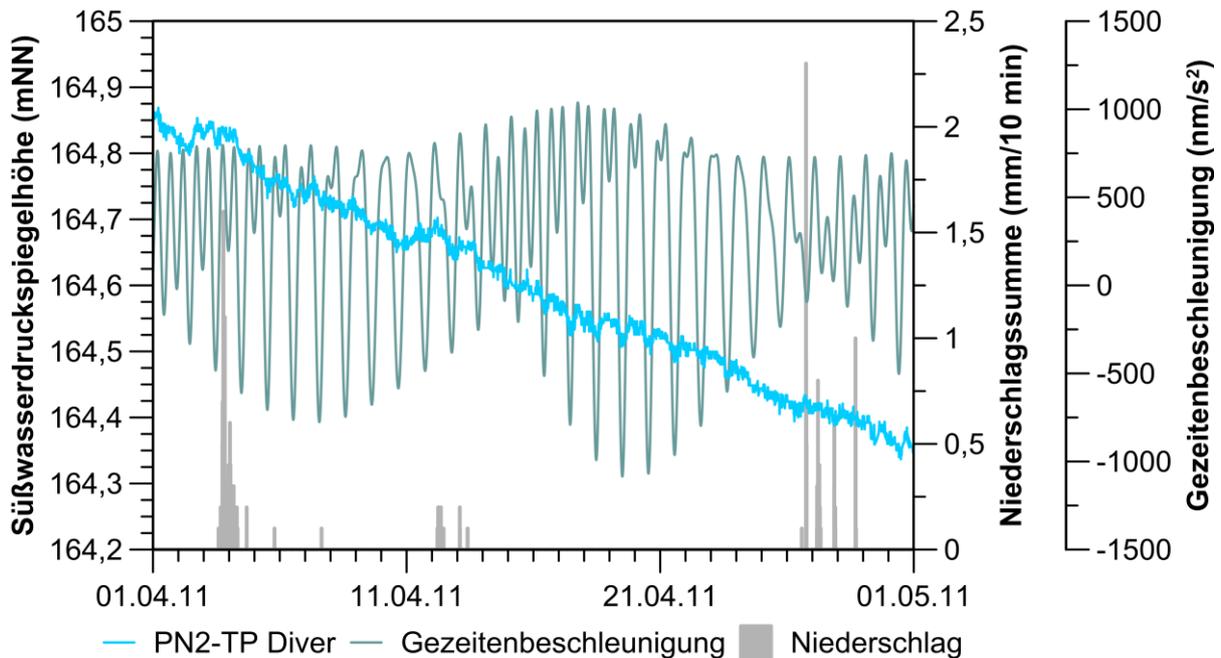


Abb. 4.88: Vergleich der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe (Diver-Druckaufnehmer) im Monat April 2011 in der GWM PN2-FP mit den Niederschlagswerten und den mittels der Software TSoft berechneten Gezeitenbeschleunigung für den Standort Asse.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 179 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

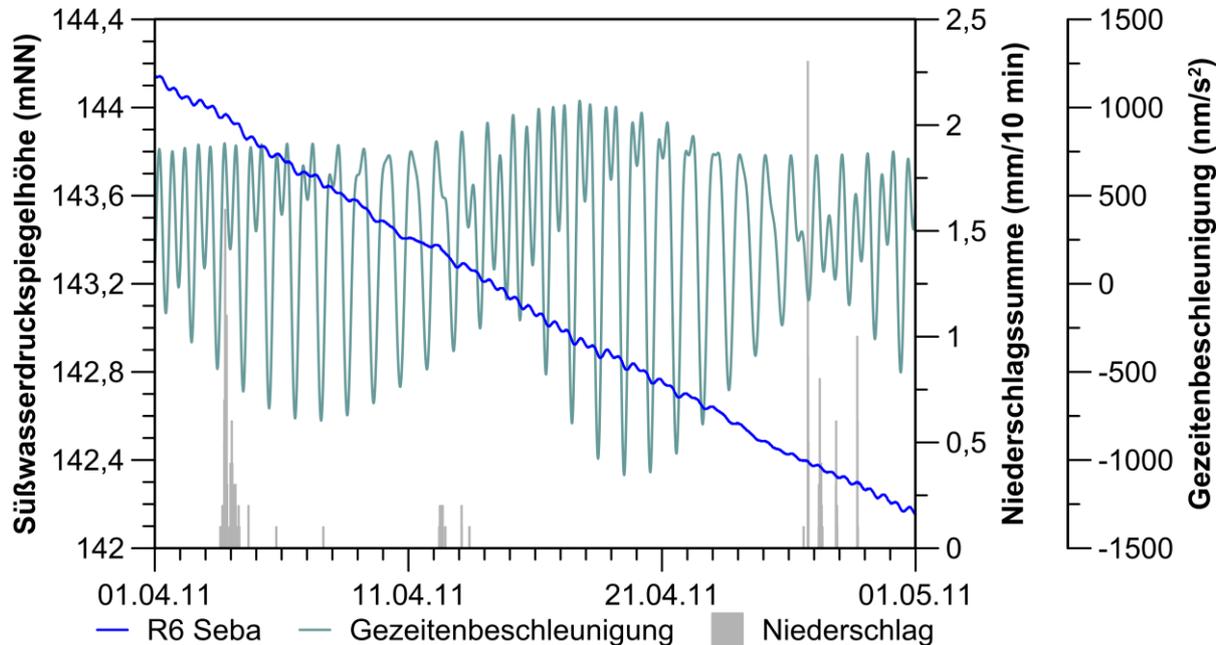


Abb. 4.89: Vergleich der Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) im Monat April 2011 in der GWM R6 mit den Niederschlagswerten und den mittels der Software TSoft berechneten Gezeitenbeschleunigung für den Standort Asse.

Die grafische Auswertung ergibt für die in Tab. 4.5 genannten GWM PN1 und PN2 (jeweils Flach- und Tiefpegel) sowie für die GWM R6 visuell eine gute Übereinstimmung der hochfrequenten Schwankungen der Süßwasserdruckspiegelhöhe mit der berechneten Gezeitenbeschleunigung am Standort Asse. Für die GWM R6 sind diese Ergebnisse in Übereinstimmung mit Schlussfolgerungen der kombinierten Gezeiten-Luftdruckanalyse von [Herrmann & Kümpel 2000], die diese Bohrung – zusammen mit dem hydraulisch angeschlossenen Gebirge – als hydraulisch abgeschlossenes und für den Periodenbereich der Gezeiten drucksensibles System ausweisen. Weiterführende Aussagen und die Ableitung von hydraulischen Parametern aus den vorliegenden Ganglinien für die GWM PN1 und PN2 erfordern eine vertiefte Betrachtung der einzelnen Gezeitenwellen sowie deren Phasenverschiebung unter Berücksichtigung von gebirgsmechanischen Parametern.

Für die GWM H14, P13 und P16 (Tab. 4.5), in denen ebenfalls hochfrequente (<1 h) Grundwasserschwankungen mit Amplituden im cm-Bereich auftreten, ist eine solche Übereinstimmung auf Basis der grafischen Auswertung bedingt durch die Streuung der Messwerte unsicher. Hier sind möglicherweise auch andere Ursachen für die beobachteten hochfrequenten Schwankungen möglich, wie z.B. ein Defekt des Druckaufnehmers oder Evapotranspiration durch Vegetation [Gribovski et al. 2010]. Die letztere Erklärung könnte insbesondere auf die GWM H14 und P13 zutreffen, da beide Messstellen eine sehr oberflächennahe Wasserspiegellage aufweisen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 180 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

4.7 FUNKTIONALITÄT DER MESSSTELLEN

Der Verlauf der Grundwasser- und Wassertemperaturganglinien kann es in bestimmten Fällen erlauben, Rückschlüsse auf die Funktionalität der Messstellen zu ziehen. Dazu gehören beispielsweise außergewöhnlich rasche Grundwasserspiegel- und Temperaturänderungen in tiefen Grundwassermessstellen nach Niederschlagsereignissen, die jeweils eine Zusickerung von Oberflächenwasser direkt in das Standrohr bzw. in den Ringraum anzeigen können. Entsprechende Indizien finden sich insbesondere für die GWM PN1 (TP und FP; *mu*) und möglicherweise für die GWM H24b (*so*). Für die Messstelle P17 (*km*), die nach Angaben der Asse-GmbH zeitweise auch große Mengen von Niederschlagswasser im Brunnenschacht aufweist, wurden aufgrund der Ganglinien keine Anzeichen für eine Zusickerung von Niederschlagswasser in das Standrohr bzw. in den Ringraum gefunden. Bei den tiefen R-Messstellen ist zumindest bis 2004 die Zusickerung von Oberflächenwasser über den Schachtdeckel direkt in das Standrohr für die GWM R5, R6 und R8 in den Jahresberichten [GSF 2004] dokumentiert.

Neben ungewöhnlichen Schwankungen der Ganglinien kann auch das *Fehlen* von beobachtbaren Reaktionen auf das Niederschlagsregime und auf einzelne Niederschlagsereignisse sowie auf Luftdruck- oder Gezeiteneinflüsse, wie dies für z.B. für die GWM R5 beobachtet wird, mögliche Hinweise auf die Funktionalität der Messstelle und/oder auf die hydraulischen Eigenschaften der angeschlossenen Formationen geben.

Weitere Rückschlüsse auf die Funktionalität können für diejenigen Messstellen gezogen werden, die eine Dichteschichtung aufweisen und deren Filterstrecke ausschließlich in hoch-salinaren Grundwässern liegt. Beispielsweise trat in den tiefen R-Messstellen nach dem Abpumpen der Süßwassersäule Anfang der 1990er-Jahre ein Zufluss von gering mineralisiertem (Süß-)Wasser und die Einstellung einer Dichteschichtung auf. Weiterhin hat sich in der GWM H17 ein Süß-/Salzwassersprung knapp oberhalb der Filterstrecke in ca. 230 m Tiefe ausgebildet. Dies deutet auf eine Zusickerung von Süßwasser entlang des (undichten) Verrohrung im nicht-verfilterten Abschnitt oberhalb der Filterstrecke oder auf ein undichtes Verschlussbauwerk hin. Eine Undichtigkeit der Verrohrung in diesem Bereich würde die wirksame Länge der Filterstrecke in Richtung höher gelegener Grundwasserbereiche vergrößern. Dementsprechend lassen sich die erhaltenen Süßwasserdruckspiegelhöhen nicht mehr auf ein diskretes Intervall innerhalb der erbohrten Abfolge beziehen (vgl. auch Kap. 4.8).

GWM PN1 (*mu*, SW-Flanke)

Der Tiefpegel der GWM PN1 weist kurzzeitige Wasserspiegelanstiege um bis zu 4 m auf, die jeweils mit einer Abkühlung des Wassers um bis zu maximal $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ und ergiebigen Niederschlagsereignissen korrelieren (Abb. 4.30). Diese Beobachtungen könnten einerseits durch eine sehr gute hydraulische Anbindung der Messstelle an oberflächennahe Karst- oder Störungssysteme erklärt werden, andererseits besteht die Möglichkeit der Zusickerung von Oberflächenwasser in den Tiefpegel der GWM PN1.

Während ein Einfluss oberflächennaher Karst- oder Störungssysteme aufgrund der Tiefanlage (180 m) und der Bohrbefunde eher unwahrscheinlich ist, wird die Zusickerung von Oberflächenwasser direkt in den Tiefpegel durch mehrere Indizien gestützt. Zum einen würde das Vorhanden-



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 181 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

sein größerer Wassermengen nach ergiebigen Niederschlagsereignissen im Schachtbauwerk der GWM PN1, die auch nach mehreren Tagen nicht abgefließen sind (siehe Abb. 4.90), für diese Ursache sprechen. Zum anderen bietet die unterschiedliche Höhenlage der Oberkante des Peilrohres, die für den Tiefpegel 10 cm tiefer liegt als die für den Flachpegel, eine Erklärung dafür, dass die Zusickerung von Oberflächenwasser, welches sich nach Niederschlägen im Schacht sammelt in den Tiefpegel und nicht in den Flachpegel erfolgt. Oberflächenwasser könnte unter diesen Bedingungen nur in den Flachpegel gelangen, wenn der Tiefpegel komplett vollgelaufen ist, was durch die Ganglinien der Druckaufnehmer nicht gestützt wird. Weiterhin lassen sich mit dieser Erklärung auch die beobachteten kurzzeitigen Temperaturänderungen im Flachpegel (Sommer: max. +0,1 °C; Winter: bis -0,4 °C; Abb. 4.30), die jeweils mit Niederschlagsereignissen, aber nicht mit Anstiegen des Wasserspiegels korrelieren, begründen: Durch die bauartbedingte räumliche Nähe der beiden Peilrohre (siehe Abb. 4.90) besteht die Möglichkeit, dass das zu sickende Oberflächenwasser in den Tiefpegel diese Temperaturänderungen im Flachpegel hervorruft. Insgesamt sprechen somit die Beobachtungen und baulichen Gegebenheiten in der Messstelle GWM PN1 für eine direkte Zusickerung von Oberflächenwasser in den Tiefpegel.



Abb. 4.90: Schachtbauwerk der GWM PN1 mit den Peilrohren des Flach- (links) und Tiefpegels (rechts). Eingedrungenes Oberflächenwasser bedeckt die Schachtsohle (Aufnahmedatum 12.10.2011).

GWM H24b (so, SW-Flanke)

Analog zu den Beobachtungen in der GWM PN1, weist die GWM H24b ebenfalls häufig einen raschen Wasserspiegelanstieg nach Niederschlagsereignissen auf (Abb. 4.15), die jeweils mit einem abrupten Temperaturabfall (max. -0,4 °C) in der Messstelle korrelieren (Abb. 4.16). Im Gegensatz zu den Wasserspiegeländerungen in GWM PN1 weisen die kurzzeitigen Wasserspiegelanstiege in der GWM H24b mit bis zu 30 m eine deutlich größere Amplitude auf. Nach Auskunft der Asse-GmbH gibt es keine Hinweise auf eindringendes Oberflächenwasser im Brunnenschacht der GWM



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 182 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

H24b, was bei dieser Messstelle gegen eine direkte Zusickerung von Oberflächenwasser durch den Brunnenschacht spricht. Es ist zudem zu erwarten, dass das in größeren Mengen in das Standrohr eindringende Oberflächenwasser, z.B. nach der Schneeschmelze im Januar 2011, eine stärkere Temperaturabsenkung in der Messstelle hervorrufen würde, als die während dieses Ereignisses beobachtete Abkühlung um $-0,2\text{ °C}$ (Abb. 4.16).

Zudem wurden entsprechend der lithologischen Beschreibungen beim Bau der GWM H24b oberflächennah, d.h. zwischen ca. 5 m und 18 m Tiefe, mehrere mächtige Karsthohlräume angetroffen. Diese Tiefenlage entspricht etwa der maximalen Aufspiegelungshöhe nach Niederschlagsereignissen. Weitere Karsthohlräume wurden in einer Tiefenlage von etwa 35 m bis 45 m gefunden, die in etwa im Bereich der saisonalen Schwankungen des Wasserspiegels in der GWM H24b liegen. Beide Abschnitte mit Karsthohlräumen werden durch den obersten Filterstreckenabschnitt dieser Messstelle, der im Bereich von 10 m bis 50 m unter der Messpunkthöhe liegt, erschlossen.

Insgesamt erscheint es somit plausibel, dass die beobachteten raschen und starken Anstiege des Wasserspiegels in der GWM H24b durch den Zustrom von Grundwasser aus oberflächennahen verkarsteten Abschnitten des Oberen Buntsandstein (so) bedingt sind. Grundwasserganglinien mit einem prinzipiell ähnlichen Verlauf sind insbesondere für Messstellen in Karstgrundwasserleitern mit Anbindung an größere Karströhren beschrieben. Möglicherweise sind im Fall der GWM H24b die erschlossenen Karsthohlräume im Streichen des Oberen Buntsandstein hydraulisch mit den dort häufig beobachteten Dolinen [Appel 1971] verbunden, was eine plausible Erklärung für die beobachtete extreme Reaktion auf Niederschlagsereignisse ist.

GWM R5, R6, R7 und R8 (*mu*, SW-Flanke)

In der GWM R5 fand in den Jahren 1985 bis 1987 ein Zufluss von Oberflächenwasser statt, der jeweils zu einer Aufspiegelung von bis zu 10 m geführt hat [GSF 1994]. Für die GWM R6 ist in [GSF 2004] ein signifikanter Zufluss von Oberflächenwasser für das Jahr 2003 dokumentiert, der zu einer Aufspiegelung um mehr als 40 m geführt hat. Für die GWM R8 lassen sich im Zeitraum von 1992 bis 1997 mehrere Oberflächenwasserzuflüsse mit einer Aufspiegelung um etwa 3 bis 8 m zeigen [GSF 2004]. In allen Fällen wurde der Zufluss durch Undichtigkeiten im Brunnenschachtbauwerk verursacht, welches daraufhin abgedichtet wurde [GSF 2004]. Seither werden keine raschen Aufspiegelungen mehr beobachtet, die auf den direkten Zustrom von Oberflächenwasser hinweisen (Kap. 4.2.2).

Darüber hinaus ist insbesondere die Ganglinie der GWM R5 auffällig, denn sie weist keine ersichtliche Korrelation mit den in Kap. 4.3 genannten Einflussfaktoren, wie z.B. Niederschlagsregime oder Luftdruck, auf. Im Gegensatz dazu zeigen die GWM R6 und R8 (sowie möglicherweise die GWM R7) mehr oder weniger deutliche Reaktionen auf das saisonale und langfristige Niederschlagsregime. Für die GWM R6 ist zudem ein Luftdruck- und Gezeiteneinfluss feststellbar. Die Gründe für dieses unterschiedliche Verhalten können im Messstellenausbau (z.B. Art der Filterstrecke und Volumen der Wassersäule) wie auch in den hydraulischen Eigenschaften der angeschlossenen Formation liegen.

Bei allen R-Messstellen wurde nach dem Setzen der Stand- und Futterrohre bis zur Oberfläche mit Tiefbauzement zementiert [GSF 1989b]. Dann erst wurden in ausgewählten Abschnitten das



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 183 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Stand- bzw. das Futterrohr und die Zementabdichtung pyrotechnisch mit 13 Löchern pro Umfang pro Meter perforiert um den Anschluss an die umgebende Formation zu schaffen. Dabei ist der resultierende Durchmesser der Perforation nicht dokumentiert, bei diesem Verfahren sind jedoch Durchmesser von etwa 8 mm bis 10 mm üblich. Durch diese Art des Messstellenausbaus ist der Kontakt zur Formation auf die jeweils perforierte Fläche beschränkt. Diese Fläche ist klein im Vergleich zu Messstellen die mittels einer Filterstrecke ausgebaut wurden. Insbesondere bei einem angeschlossenen Kluftgrundwasserleiter besteht zudem die Möglichkeit, dass Bereiche mit wasserführenden Trennflächen im perforierten Abschnitt nicht oder nur in einem geringen Ausmaß erschlossen werden. Der (erfolgreiche) hydraulische Anschluss an die umgebende Formation kann nur durch einen Vergleich von Flowmeter-/Leitfähigkeitslogs vor und nach dem Ausbau dokumentiert werden. Für die R-Messstellen liegen dazu keine Daten vor, so dass hinsichtlich des abweichenden Verhaltens der GWM R5 (und R7), im Vergleich zu den übrigen R-Messstellen, keine Aussagen getroffen werden können.

In Bezug auf das Volumen der Wassersäule in der Messstelle (Bohrlochspeicherung, wellbore storage) gibt es entsprechend den Ausbaudaten in [GSF 1989b] zwischen den R-Messstellen wesentliche Unterschiede:

- Die GWM R5 besitzt zwei teleskopierte Futterrohre, die bis ca. 669,7 m Tiefe einen Innendurchmesser von 330 mm und daran anschließend bis zum Zementkopf bei 896 m einen Innendurchmesser von 234 mm aufweisen. Bei einem mittleren Flurabstand ergibt sich dabei für die Wassersäule ab der Mitte der Perforationsstrecke ein Volumen von etwa $60,1 \text{ m}^3$.
- Die GWM R6 verfügt über ein durchgehendes Futterrohr von 119,5 mm Innendurchmesser bis zu einer Tiefe von 596,66 m. Bei einem mittleren Flurabstand errechnet sich daraus für die Wassersäule ab der Mitte der Perforationsstrecke ein Volumen von etwa $4,7 \text{ m}^3$.
- Die GWM R7 besitzt ein zweifach teleskopiertes Futterrohr, das bis 562,5 m Tiefe einen Innendurchmesser 235,5 mm aufweist und dann bis zur maximalen Ausbautiefe von 832 m einen Innendurchmesser von 170,7 mm besitzt. Bei einem mittleren Flurabstand ergibt sich dabei für die Wassersäule ab der Mitte des perforierten Intervalls ein Volumen von etwa $27,1 \text{ m}^3$.
- Die GWM R8 verfügt über ein durchgehendes Futterrohr von 168,8 mm Innendurchmesser. Bei einem mittleren Flurabstand lässt sich für die Wassersäule ab der Mitte des perforierten Intervalls ein Volumen von etwa $11,1 \text{ m}^3$ berechnen.

Somit verfügen die beiden GWM R5 und R7 über einen deutlich größeren Bohrlochspeicher (wellbore storage) im Vergleich zu den GWM R6 und R8. Dieser Bohrlochspeicher kann insbesondere kurzzeitige Einflüsse, wie z.B. Niederschläge, Luftdruckschwankungen und Gezeitenkräfte, dämpfen.

Ein weiterer wichtiger Punkt sind die mittels Doppelpackertests vor dem Messstellenausbau ermittelten hydraulischen Leitfähigkeiten in den getesteten Abschnitten entlang der Perforationsstrecke(n). Diese liegen für die GWM R5 bei $2 \cdot 10^{-10}$ und $6 \cdot 10^{-12}$ m/s, für die GWM R6 bei $1 \cdot 10^{-6}$ und $8 \cdot 10^6$ m/s, für die GWM R7 bei $2,5 \cdot 10^{-10}$ und $5,9 \cdot 10^{-12}$ m/s und für die GWM R8 bei $1 \cdot 10^{-9}$, $3,4 \cdot 10^{-11}$ und $4,5 \cdot 10^{-11}$ m/s. Dieser Vergleich zeigt, dass die ermittelte hydraulische Durchlässigkeit in den GWM R5, R7 und R8 jeweils um mehrere Größenordnungen geringer ist als die für die R6.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 184 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Zusammenfassend können die systematischen Unterschiede der Bohrlochspeicherung und der hydraulischen Leitfähigkeiten zwischen den GWM R5 (und R7) im Vergleich zu den GWM R6 und R8 eine Erklärung für das oben ausgeführte unterschiedliche Verhalten der Ganglinien bieten. Weitere Aussagen zur Funktionalität dieser GWM können aber erst nach einer Überprüfung mittels geophysikalischer bzw. hydraulischer Messungen erfolgen.

4.8 FUNKTIONALITÄT DER DRUCKAUFNEHMERSYSTEME

In Bezug auf die Funktionalität der beiden momentan im Einsatz befindlichen Seba- und Diver-Druckaufnehmertypen zeigt die Auswertung der Ganglinien die folgenden Ergebnisse:

- (i) die Süßwasserdruckspiegelhöhe der beiden Druckaufnehmer zeigt in einigen Messstellen eine Differenz,
- (ii) es treten Störungen (z.B. Rauschen, Drift) der Messwerte auf und
- (iii) es kommen Ausfälle der Druckaufnehmer und Auslesegeräte vor.

Bei den meisten Messstellen, in denen die beiden unterschiedlichen Druckaufnehmersysteme eingesetzt werden, zeigt der Verlauf der beiden resultierenden Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe zumeist eine gute Übereinstimmung (Tab. 4.9). Im Hinblick auf die Höhenlage der Süßwasserdruckspiegelhöhe lässt sich aber oftmals eine Höhendifferenz im Bereich von mehreren Zentimetern bis Dezimetern zwischen den Ganglinien beobachten. Nachdem die Höhendifferenz während des Beobachtungszeitraumes 2010/11 bei den meisten Messstellen konstant ist, sind die Ursachen für diesen Höhenunterschied u.E. in einer Abweichung der tatsächlichen Einbautiefe des Diver-Druckaufnehmersystems von der mittels der Kabellänge bestimmten Einbautiefe begründet. Beim Seba-Druckaufnehmersystem werden die Messdaten mittels der Abstichhöhe kalibriert und dadurch werden eventuelle Fehler, die sich aus der Bestimmung der Einbautiefe (Kabellänge) und der Druckhöhe (geräteseitige Umrechnung der Wassersäule) ergeben, eliminiert. Diese Kalibrierung wird bei den Diver-Druckaufnehmern aufgrund der nachträglichen Luftdruckkompensation nicht durchgeführt (Kap. 4.1), und somit können sich bei diesem System Abweichungen gegenüber den Abstichhöhen ergeben.

Einige Messstellen, wie z.B. die GWM H3 und H9, weisen keine zeitlich konstante Differenz der aus den Daten der jeweiligen Druckaufnehmersysteme berechneten Süßwasserdruckspiegelhöhe auf, sondern zeigen Abweichungen die eine zeitliche Variabilität aufweisen. Diese Abweichungen können nicht durch Unterschiede der tatsächlichen gegenüber der angenommenen Einbautiefe erklärt werden. Möglicherweise können diese Abweichungen durch einen Defekt des Druckaufnehmers entstehen, wie beispielsweise durch eine gestörte Luftdruckkompensation im Seba-Druckaufnehmer. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass der Diver-Druckaufnehmer eine Drift der Messwerte aufweist.

Kurzfristige Störungen der Ganglinie, wie z.B. der abrupte Versatz der Ganglinie oder das Vorkommen von nicht plausiblen Ausreißer- oder Nullwerten, wurden bei beiden Druckaufnehmersystemen beobachtet, sind jedoch beim Seba-System prinzipiell häufiger. Diese Störungen sind vermutlich auf die Eingabe von fehlerhaften Werten bei der Kalibrierung des Seba-Systems (ab-



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 185 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

rupter, extremer Versatz der Ganglinie) sowie auf Fehler beim Wiedereinhängen der Druckaufnehmer, z.B. nach Wasserprobennahmen, zurückzuführen (Beispiel: GWM H14; Abb. 4.21).

Längerfristige Störungen des Messsignals des Seba-Druckaufnehmers wurden bei der GWM H9 sowie bei den tiefen GWM R7 und R8 beobachtet. Dabei trat jeweils in den Wintermonaten der Jahre bis 2005 (H9) bzw. 2007 (R7 und R8) ein stark verrauschtes Signal auf. Diese Störung lag anscheinend im Druckaufnehmer und wurde durch einen Austausch des Gerätes behoben.

Längerfristige Ausfälle (>1 Tag) der Druckaufnehmersysteme sind als Summe der Ausfalltage für den betrachteten Zeitraum der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 in Tab. 4.9 gezeigt. Diese längerfristigen Ausfälle sind zumeist in einem Defekt der Druckaufnehmer oder der Datenlogger (z.B. durch entleerte Batterien) begründet. Die Zusammenstellung in Tab. 4.9 zeigt, dass die Ausfallzeiten in den Jahren 2002 bis 2011 der Seba-Druckaufnehmer eine große Bandbreite von 9 Tagen in GWM R7 bis zu 567 Tagen in GWM P13 aufweisen. Letztere Messstelle weist zudem den längsten kontinuierlichen Ausfall mit einer Dauer von etwa einem Jahr auf. Mehr als 365 Ausfalltage treten zudem bei der GWM H3, R6 sowie bei Schacht Asse 1 auf. Im Gegensatz dazu zeigen die z.T. seit Anfang 2010 verbauten Diver-Druckaufnehmer kaum Ausfalltage; einzig die GWM H23 ist vom 10.06.2011 bis zum 19.08.2011 für 69 Tage ausgefallen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 186 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 4.9: Funktionalität der Druckaufnehmersysteme in den Messstellen des hydrogeologischen Messnetzes für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011.

Messstelle	Lithologie	Höhendifferenz Seba-Diver ⁽¹⁾	Ausfalltage Seba / Diver	Längster Ausfallzeitraum (Tage) Seba / Diver
H3	su2	z.T. 0 bis 0,25 m	482 / 0	28.09.2007 – 07.02.2008 (129)
S1	su	nur Seba	475	15.11.2002 – 13.03.2003 (118)
S3	su, z3r, z	nur Diver	0	
H24b	so1-so2	ca. -1 m	24 / 0	31.10.2005 – 21.11.2005 (21)
H1	mu	nur Diver	55	25.05.2005 – 06.07.2005 (41)
H14	q, mu	z.T. -1 bis 2 m	242 / 0	04.02.2002 – 23.04.2002 (79)
H23	mu	ca. -0,2 bis 0,6 m	291 / 0	29.06.2005 – 08.09.2005 (69)
P16	mu	<0,1 m	131 / 69	19.07.2007 – 28.09.2007 (69) / 10.06.2011 – 19.08.2011 (69)
PN1-FP	mu3	nur Diver	0	
PN2-TP	mu1	nur Diver	0	
PN2-FP	mm	nur Diver	0	
PN2-TP	mu1	nur Diver	0	
R5	mu	ca. -0,2 m	232 / 0	12.11.2001 – 18.01.2002 (66)
R6	mu	nur Diver	498	17.06.2002 – 27.11.2002 (160)
R7	mu	ca. -0,2 bis -0,3 m	9 / 0	16.11.2004 – 25.11.2004 (9)
R8	mu	ca. -0,1 bis -0,2 m	16 / 0	29.04.2008 - 15.05.2008 (16)
H6	q, mm, so1	ca. 0,1 bis 0,3 m	58 / 0	07.09.2010 – 29.10.2010 (52)
H16	mmR	ca. -0,2 bis -0,5 m	470 / 0	16.01.2003 – 04.08.2003 (198)
P13	mmR, so2-so3	ca. 0,1 bis 0,2 m	567 / 0	31.10.2001 – 01.11.2002 (365)
P9	km	ca. -0,05 bis -0,1 m	70 / 0	10.09.2009 – 22.10.2009 (42)
P17	km1	nur Diver	0	
P15	ko	ca. 0,5 m	63 / 0	15.11.2002 – 16.01.2003 (61)
H7	ju	nur Diver	0	
H9	ju	ca. -0,1 bis 0,4 m	44 / 0	08.09.2011 – 23.09.2011 (44)
H5	z3r (so1, A3)	ca. -0,1 bis 0,4 m	154 / 0	08.01.2010 - 03.03.2010 (55)
H17	Subr.ger.	ca. -0,1 bis 0,2 m	313 / 0	03.09.2008 – 23.10.2008 (50)

⁽¹⁾ Eine negative Zahl zeigt an, dass die Süßwasserdruckspiegelhöhe des Diver-Druckaufnehmers über der des Seba-Druckaufnehmers liegt.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 187 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

5 METEOROLOGISCHE DATEN UND ABFLUSSMESSUNGEN

Anhand der an der meteorologische Station bei Schacht Asse 2 erhobenen Daten (i.W. Niederschlags- und Temperaturganglinien) lässt sich das lokale klimatische Regime am Standort Asse bestimmen (Kap. 5.2 und 5.3). Diese Daten bilden – zusammen mit den Ganglinien des Abflusses der Quellen und der Vorfluter (Kap. 5.4) – die Basis für Betrachtungen zum Wasserhaushalt des Asse-Deckgebirges. In diesem Kontext wird in diesem Kapitel auch der in der Südflanke des Asse-Grubengebäudes gefasste Lösungszutritt als ein „Abfluss“ von Grundwasser aus dem Deckgebirge angesehen (Kap. 5.4.3) Zudem bilden diese meteorologischen Daten die Grundlage für die im folgenden Kap. 6 dargelegten indirekten Verfahren zur Bestimmung der GW-Neubildung am Standort Asse.

Weiterhin sind die Ganglinien der Niederschlagshöhe sowie das Auftreten von Extremereignissen, wie u.a. Starkregen und Trockenperioden, für die Interpretation der im vorangegangenen Kap. 4 dargestellten Grundwasserganglinien des hydrogeologischen Messnetzes von Bedeutung. Hier können insbesondere die Niederschlagsganglinien als wichtige „Inputfunktion“ dienen, die zusammen mit den „Outputdaten“ (Grundwasser- und Abflussganglinien) ein verbessertes hydrogeologisches Systemverständnis des Asse-Deckgebirges ermöglichen. Ein wesentlicher Zwischenschritt dabei ist die Bestimmung der Kreuzkorrelation zwischen der Süßwasserdruckspiegelhöhe und dem Niederschlag (vgl. Kap. 4.4.7).

5.1 METHODIK UND DATENGRUNDLAGE

Durch die meteorologische Station bei Schacht Asse 2 werden fortlaufend die Temperatur, der Niederschlag, die relative Luftfeuchtigkeit, der Luftdruck, die Windgeschwindigkeit die Windrichtung und der Taupunkt automatisch mit einem Messintervall von 10 Minuten erfasst.

5.1.1 Niederschlags- und Temperaturmessung

Für die Niederschlagsmessung wird an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 ein Hellmann-Regenmesser Niederschlagssensor der Firma Lambrecht (Göttingen) vom Typus 1518 H mit angeschlossenem Datenlogger verwendet. Dieser arbeitet nach dem Joss-Tognini-Prinzip mit einer Kippwaage und es werden sowohl der Auffangtrichter als auch der Ablauftrichter beheizt. Die Genauigkeit wird vom Hersteller mit $\pm 2\%$ angegeben und das Gerät verfügt über eine automatische Intensitätskompensation.

Es erfolgt *keine* Korrektur der ermittelten Niederschlagshöhen aufgrund von systematischen Messfehlern des Niederschlagssensors die, im Vergleich zu der auf der Landoberfläche auftreffenden Niederschlagsmenge, mit Verlusten verbunden ist [Richter 1995]. Dies ist zwar für die allgemeine Bewertung des klimatischen Regimes am Standort Asse nicht entscheidend, ist aber für die weitergehende Bilanzierung des Wasserhaushaltes und den Vergleich mit anderen meteorologischen Stationen relevant. Diese Verluste resultieren zum einen aus Verdunstung im Auffangtrichter und zum anderen aus der Windverwehung des Niederschlags. Nach [Richter 1995] liegen diese Ver-



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 188 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

luste, je nach Standort und Typ des Niederschlagsmessers, in einer Größenordnung von 10 % bis zu 15 % der „tatsächlichen“ Niederschlagshöhe. Dementsprechend liegen die korrigierten Werte der Niederschlagshöhe um diesen Faktor über den nicht korrigierten Werten.

5.1.2 Datengrundlage

Für diesen Bericht wurde von der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 eine kontinuierliche Datenreihe der Temperatur, der Niederschlagshöhe, der Luftfeuchtigkeit, des Luftdrucks, der Windgeschwindigkeit und -richtung, sowie des Taupunkt der Jahre 2001 bis 2011 zur Verfügung gestellt, die wartungsbedingt die folgenden, jeweils mehrtägigen Datenlücken aufweist:

- vom 15.06.2002, 13:20 Uhr bis 17.06.2002, 5:40 Uhr
- vom 10.08.2002, 19:00 Uhr bis 12.08.2002, 7:40 Uhr
- vom 22.04.2005, 13:50 Uhr bis 25.04.2005, 7:20 Uhr
- vom 15.01.2011, 8:00 Uhr bis 16.01.2011, 18:30 Uhr

5.2 NIEDERSCHLAGS- UND TEMPERATURGESCHEHEN

Die Auswertung der Niederschlags- und Temperaturentwicklung der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 erlaubt es den jeweiligen Jahresverlauf, d.h. die saisonale Variabilität, am Standort zu charakterisieren und Extremereignisse, wie z.B. Starkregen, zu dokumentieren. Die Abfolge der resultierenden jährlichen Niederschlagssummen und deren Abweichung vom Mittelwert der betrachteten zehnjährigen Zeitreihe bzw. von den Normalwerten der Zeitreihe 1961 bis 1990 ergeben das mehrjährige Klimaregime am Standort.

5.2.1 Jährlicher Niederschlags- und Temperaturverlauf

In diesem Kapitel werden für jedes hydrologische Jahr des betrachteten Zeitraums 2002 bis 2011 die täglichen Niederschlagshöhen (nicht korrigiert) und die Tagesmitteltemperaturen grafisch dargestellt; eine Tabelle mit den Niederschlagsdaten (Tages-, Monats- und Jahressummen sowie Anzahl der Niederschlagstage) ist für jedes hydrologische Jahr im Anhang D enthalten. Zudem wird eine Kurzcharakterisierung des meteorologischen Geschehens am Standort Asse gegeben. Weiterhin werden charakteristische Kennwerte zur Charakterisierung eines hydrologischen Jahres im Hinblick auf die meteorologischen Gegebenheiten, wie z.B. die Anzahl der Tage mit mittleren Temperaturen von weniger als 0 °C bzw. mehr als 25 °C, die jeweils längste Trockenperiode mit Niederschlägen von weniger als 0,1 mm/d und die jährliche Kältesumme¹, d.h. die Summe der Beträge der negativen Tagesmittelwerte der Lufttemperatur der Monate November bis März, aufgeführt.

¹ Mit Hilfe der Kältesumme (keine Einheit) lässt sich die Strenge eines Winters beurteilen: Summe <100 = milder Winter; 100-199 = mäßig warmer Winter; 200-299 = mäßig kalter Winter; >300 = strenger Winter.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 189 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Niederschlag und Temperatur im hydrologischen Jahr 2002

Von November bis Mitte Dezember 2001 gab es intensive Niederschläge entsprechend dem langjährigen Mittel für diese Monate (Abb. 5.1 sowie Tab. D.1 im Anhang). Die Temperaturen waren dabei eher unterdurchschnittlich kühl und lagen zumeist unter dem Gefrierpunkt. Ab Mitte Dezember bis zum Frühjahr 2002 gab es unterdurchschnittliche Niederschläge, der Winter war mild, es gab kaum längere Frostperioden (Kältesumme: 79) und praktisch kein Schneefall (Schneedecke nur wenige Tage Ende Dezember und Anfang Januar, sowie Mitte Februar). Im März und April gab es nur geringe Niederschläge (Trockenperiode) und erst ab Ende April bis in den Juni fanden intensivere Niederschlagsereignisse statt. Der Sommer des Jahres 2002 ist dann durch mehrere Starkniederschlagsereignisse charakterisiert: u.a. am 17. und 18. Juli mit 105 mm bzw. 36 mm Niederschlagshöhe pro Tag. Dabei waren die 105 mm pro Tag am 17. Juli 2002 die höchste in den hydrologischen Jahren 2002 bis 2011 an der meteorologischen Station der Asse gemessene tägliche Niederschlagshöhe. Weitere Starkregenereignisse fanden dann am 10. August dieses Jahres statt. Von Ende August bis September gab es nur noch wenige Niederschlagsereignisse von geringer Intensität, so dass der September dann als der trockenste Monat des Jahres ausfiel. In diesen Zeitraum fällt auch die längste Trockenperiode dieses Jahres, die vom 13.08. bis zum 16.09. insgesamt 35 Tage dauerte. Der Oktober war von den Niederschlagsmengen ebenfalls unterdurchschnittlich.

Insgesamt ist das hydrologische Jahr 2002 mit einer Niederschlagsjahressumme von 771 mm gegenüber dem 10-jährigen Mittelwert (2002 bis 2011: 656 mm) um 18 % deutlich zu niederschlagsreich.

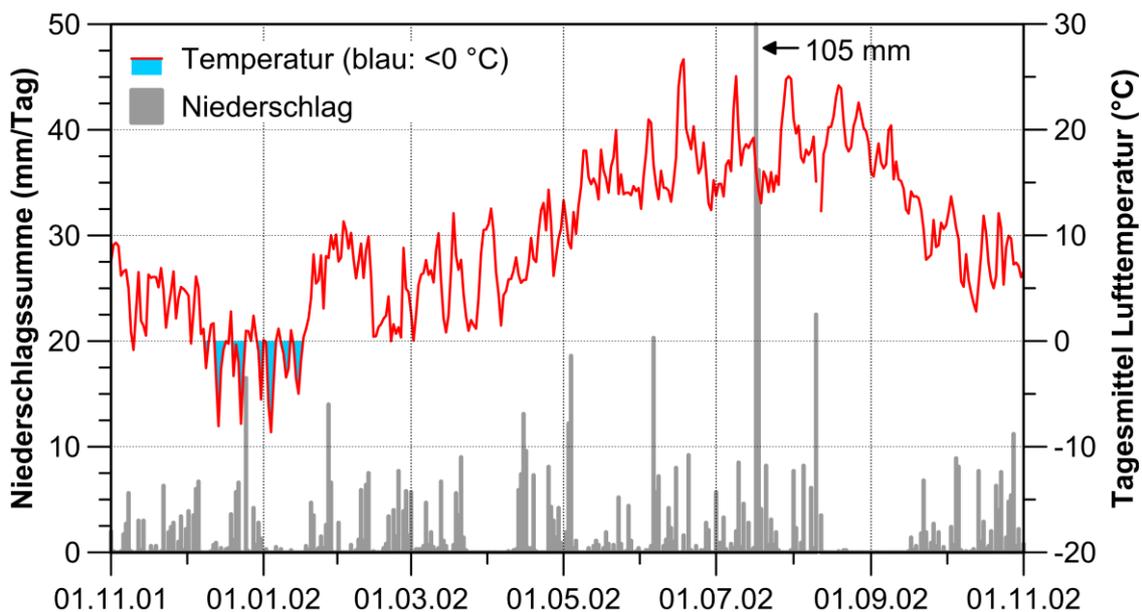


Abb. 5.1: Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2002.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 190 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Niederschlag und Temperatur im hydrologischen Jahr 2003

Das hydrologische Jahr 2003 war ein hydrologisch bedeutendes Jahr. Nach überdurchschnittlich hohen Niederschlägen in den Monaten November und Dezember (Abb. 5.2 sowie Tab. D.2 im Anhang) kam es landesweit zum Jahreswechsel zu extrem hohen Wasserständen an den Flüssen (teilweise waren es die höchsten Wasserstände seit Beginn der Aufzeichnung der Flusspegel). Die Niederschlagshöhen in den Monaten Januar-Februar 2003 lagen im langjährigen Durchschnitt und es gab nur kurze Perioden mit einer geschlossenen Schneedecke (ca. 8 Tage Anfang Januar 2003, ca. 8 Tage Ende Januar-Anfang Februar). Bedingt durch längere Forstperioden mit sehr tiefen Temperaturen, lässt sich der Winter mit einer Kältesumme von 225 als streng einstufen. Bis auf ein Niederschlagsereignis Anfang März, war dann das Frühjahr 2003 durch eine ungewöhnlich lange Periode der Trockenheit mit stark unterdurchschnittlichen Niederschlagshöhen bei gleichzeitig stark überdurchschnittlichen Temperaturen charakterisiert. In diesen Zeitraum fällt auch die längste Trockenperiode des Jahres die insgesamt die Zeiträume vom 08.02 bis zum 05.03. (26 Tage) und 07.03. bis 11.05. (66 Tage) umfasst und nur von einem Tag (06.03.) mit 4,7 mm Niederschlag unterbrochen wurde. Gleiches galt für die Sommermonate die nur wenige Starkregenereignisse und in der Summe ebenfalls stark unterdurchschnittliche Niederschläge aufwiesen. Lediglich die folgenden Monate September und Oktober wiesen dann leicht überdurchschnittliche Niederschlagshöhen auf (höchster Tagesniederschlag mit 36,9 mm am 11.09.). Diese Niederschläge konnten aber das Defizit des Frühjahr-Sommers nicht ausgleichen und es kam landesweit zu extrem tiefen Wasserständen an den Flüssen.

Durch den extrem trockenen Sommer 2003 liegt die Summe der Niederschläge im hydrologischen Jahr 2003 mit 546 mm deutlich (-17 %) unter dem Mittel der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 (656 mm).

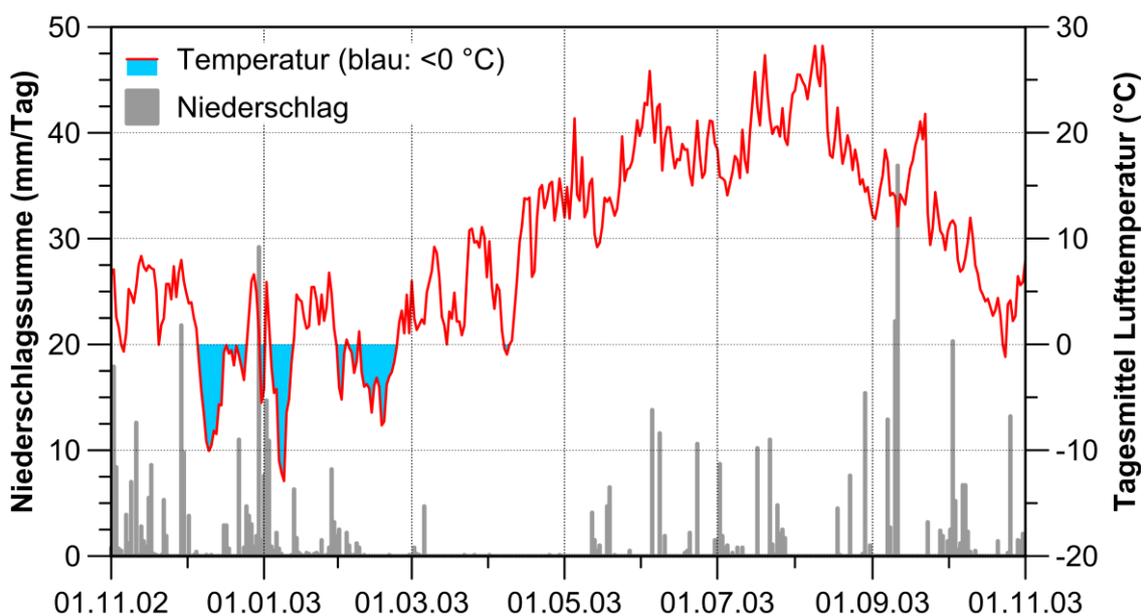


Abb. 5.2: Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2003.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 191 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Niederschlag und Temperatur im hydrologischen Jahr 2004

Während in den ersten Monaten des hydrologischen Jahres 2004 generell leicht unterdurchschnittliche bis durchschnittliche Niederschläge auftraten, gab es in den folgenden Wintermonaten, und insbesondere im Januar 2004, stark überdurchschnittliche Niederschläge (Abb. 5.3 sowie Tab. D.3 im Anhang). Der Winter war insgesamt sehr mild, es traten nur kurze Frostperioden auf (Kältesumme: 71), und es gab wenig Schneefall (Schneedecke nur an vereinzelten Tagen).

Die Monate März und April wiesen stark unterdurchschnittliche Niederschlagshöhen auf, und es gab vom 23.03. bis 18.04. die längste Trockenperiode des Jahres (27 Tage). Nach stärkeren Niederschlagsereignissen Anfang Mai, war die zweite Maihälfte überwiegend trocken. Dagegen zeichneten sich die Monate Juni und Juli durch überdurchschnittlich hohe Niederschläge aus (höchster Tagesniederschlag von 45 mm am 18.07.). Der Spätsommer und Herbst des hydrologischen Jahres 2004 war dann wieder relativ niederschlagsarm.

Insgesamt liegt die Jahressumme des hydrologischen Jahres 2004 mit 675 mm nur 3 % über dem 10-Jährigen Mittel von 2002 bis 2011 (656 mm).

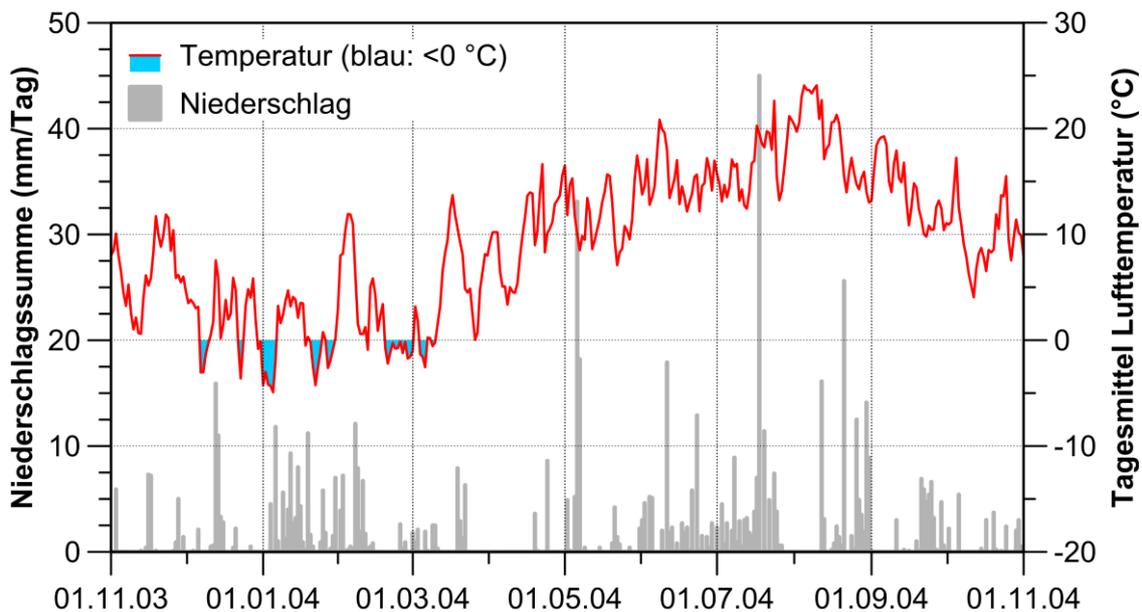


Abb. 5.3: Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2004.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 192 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Niederschlag und Temperatur im hydrologischen Jahr 2005

Nach einem relativ niederschlagsreichen November 2004 gab es im Dezember stark unterdurchschnittliche Niederschläge (Abb. 5.4 sowie Tab. D.4 im Anhang). Erst im Januar und Februar gab es viele Niederschläge. Durch den milden Winter (Kältesumme: 100) gab es nur kurze Frostperioden und wenig Schneefall. In diesen Zeitraum fällt auch die längste Trockenperiode des Jahres vom 4.11. bis 16.12.2004 (23 Tage). Eine geringmächtige geschlossene Schneedecke war nur an 12 Tagen Ende Januar und dann fast kontinuierlich von Mitte Februar bis Ende März 2005 vorhanden.

Die starke Erwärmung im März ging mit durchschnittlichen Niederschlagshöhen einher. Während das Frühjahr und der Frühsommer durch relativ durchschnittliche Niederschlagshöhen charakterisiert war, traten Ende Juli und Anfang August längere intensive Regenfälle auf (höchster Tagesniederschlag am 21.07. mit 24,3 mm), die zu überdurchschnittlichen Niederschlagshöhen in diesen Monaten führten. Dagegen waren die Monate September und Oktober nur durch vereinzelte, aber heftige Niederschlagsereignisse gekennzeichnet.

Im hydrologischen Jahr 2005 gab es insgesamt 560 mm Niederschlag, das ist deutlich (-15 %) unterhalb des 10-jährigen Mittels der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 (656 mm) am Standort Asse.

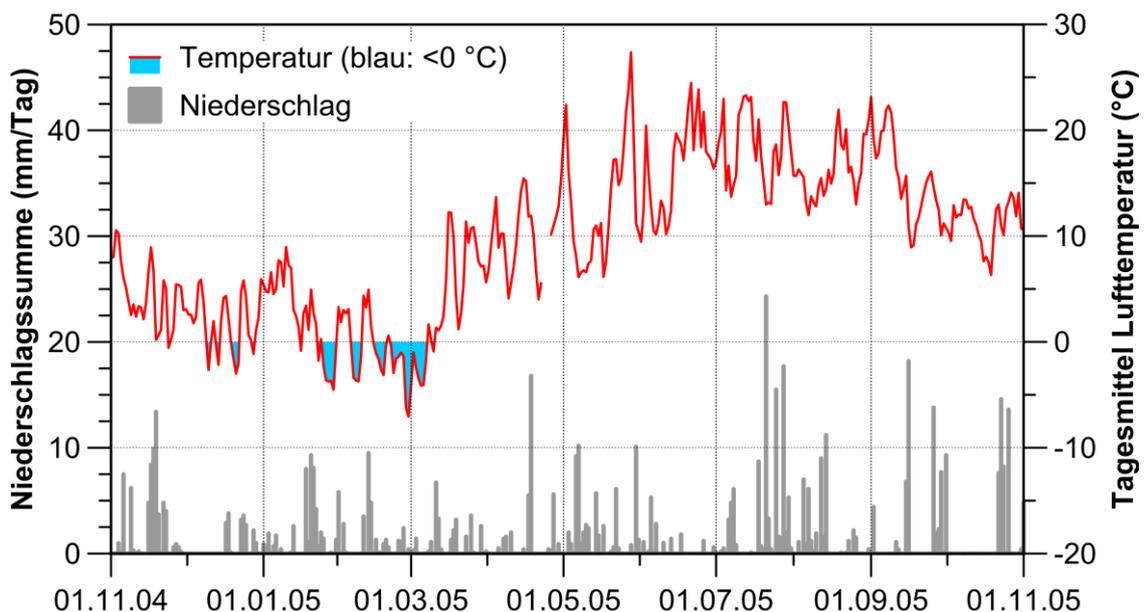


Abb. 5.4: Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2005.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 193 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Niederschlag und Temperatur im hydrologischen Jahr 2006

Nach unterdurchschnittlichen Niederschlagshöhen zu Beginn des hydrologischen Jahres 2006 (November), war der Dezember überdurchschnittlich regenreich (Abb. 5.5 sowie Tab. D.5 im Anhang). Allerdings folgten dann im Januar wiederum stark unterdurchschnittliche Niederschläge, und der Februar brachte zwar etwas höhere, aber nur durchschnittliche Niederschlagsmengen. Insgesamt war der Winter durch mehrere längerfristige Forstperioden gekennzeichnet (Kältesumme 184), wies aber kaum Schneefall auf. Eine geringmächtige geschlossene Schneedecke war nur wenige Tage zwischen Mitte bis Ende Dezember, Ende Januar und praktisch die erste Märzhälfte vorhanden.

Mit dem Anstieg der Temperaturen auf frühlingshafte Werte Ende März, begann eine längere Zeit bis Anfang Juni mit wiederkehrenden, aber in der Summe unterdurchschnittlichen Niederschlägen (höchster Tagesniederschlag am 16.06. mit 22,9 mm). In diese Zeit fällt auch die längste Trockenperiode des Jahres mit 16 Tagen vom 20.06. bis zum 05.07. (leichte Niederschläge ab dem 06.07.). Erst Ende August kam es wieder zu intensiven Niederschlägen, während der September und Oktober wieder markant zu trocken ausfielen.

Das hydrologische Jahr 2006 ist in der Bilanz ein extrem niederschlagsarmes Jahr. Im Vergleich zum 10-jährigen Mittel der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 (656 mm) gab es 2006 insgesamt nur 480 mm an Niederschlägen. Damit liegt die Niederschlagssumme des Jahres 2006 um 27 % unter dem 10-jährigen Mittel für diesen Monat und stellt den niedrigsten Wert dieser Zeitreihe dar.

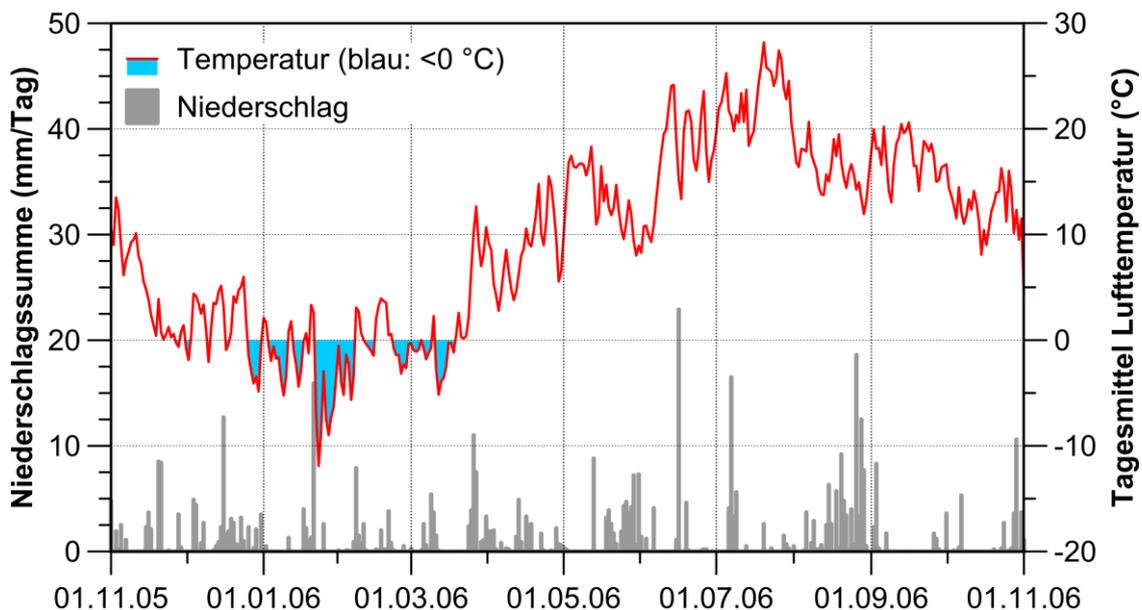


Abb. 5.5: Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2006.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 194 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Niederschlag und Temperatur im hydrologischen Jahr 2007

Das hydrologische Jahr 2007 begann ähnlich trocken wie der Ausklang des vorangegangenen: Die Monate November und Dezember 2005 waren sehr niederschlagsarm und markant zu trocken (Abb. 5.6 sowie Tab. D.6 im Anhang). Dagegen war der Januar (Sturmtief „Kyrill“) und der Februar 2007 deutlich zu nass. Insgesamt war der Winter mild und es gab kaum längere Frostperioden. Dies drückt sich auch in der Kältesumme von 26 aus, die den niedrigsten Wert des betrachteten Zeitraums darstellt. Somit beschränkte sich die Schneedecke auf ein bis zwei Tage Anfang Februar.

Nach weiteren, aber im Durchschnitt liegenden Niederschlägen im März, kam es dann im April zur längsten Trockenperiode des Jahres (19 Tage vom 04.04. bis zum 22.04.). Anschließend waren die folgenden Monate, bis auf den Oktober des hydrologischen Jahres 2007, durchgehend überdurchschnittlich niederschlagsreich (höchste Tagesniederschlagssumme am 07.05.2007 mit 38,3 mm).

Mit einer Niederschlagssumme von 838 mm ist das hydrologische Jahr 2007 in der Summe überdurchschnittlich niederschlagsreich. Diese Jahressumme liegt 28 % über dem 10-Jährigen Mittel der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 am Standort Asse und stellt den höchsten Wert der betrachteten Zeitreihe dar. Auch überregional gilt das hydrologische Jahr 2007 als das drittniederschlagsreichste Jahr in Niedersachsen seit Beginn der meteorologischen Aufzeichnungen.

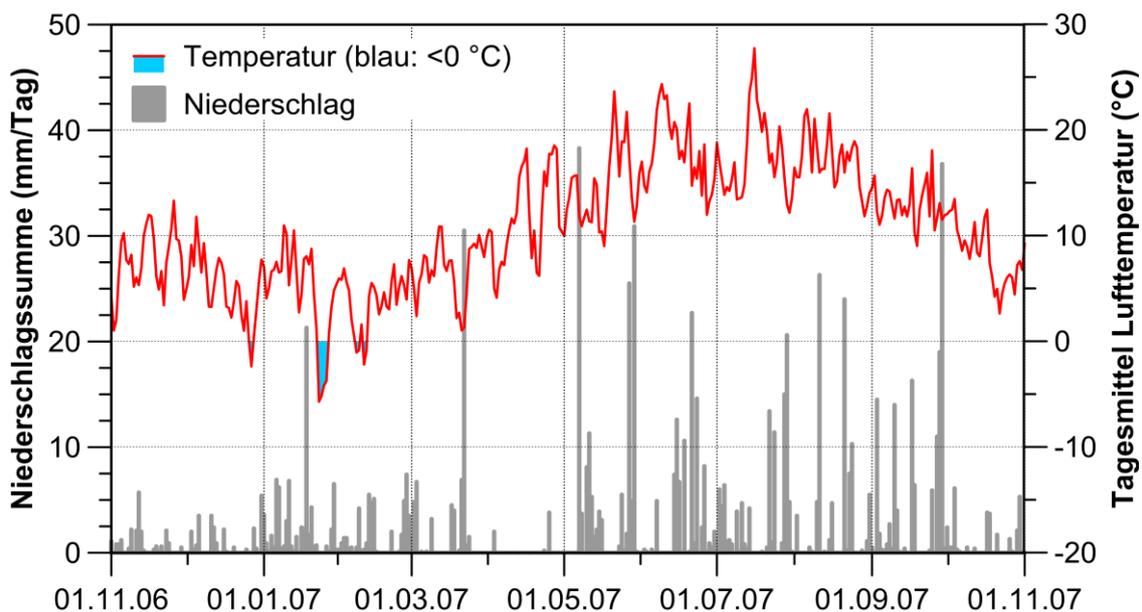


Abb. 5.6: Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2007.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 195 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Niederschlag und Temperatur im hydrologischen Jahr 2008

Nach intensiven Regenfällen im November 2007 begann ein generell zu trockener Winter (Abb. 5.7 sowie Tab. D.7 im Anhang), der bis in den März nur sehr kurze Forstperioden und wenig Schnee brachte (praktisch keine Tage mit Schneebedeckung in Niedersachsen). Der außergewöhnlich milde Winter zeigt sich auch in der geringen Kältesumme von 48.

Erst ab März bis in den April gab es intensivere Niederschläge, während der Mai zu trocken ausfiel und auch den Großteil der längsten Trockenperiode (20 Tage) vom 27.04. bis zum 15.05.2008 beinhaltete. Der Juni war dann ein eher durchschnittlicher Niederschlagsmonat, während der Juli und auch der August (höchster Niederschlag an einem Tag: 62,2 mm am 01.08.2008) überdurchschnittliche Regensummen brachten. Abschließend waren wiederum die Monate September und Oktober zu trocken.

In der Gesamtbilanz erweist sich das hydrologische Jahr 2008 als sehr niederschlagsreich. Mit einer Jahresniederschlagssumme von 795 mm liegt es 21 % über dem 10-jährigen Mittel von 656 mm der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 am Standort Asse.

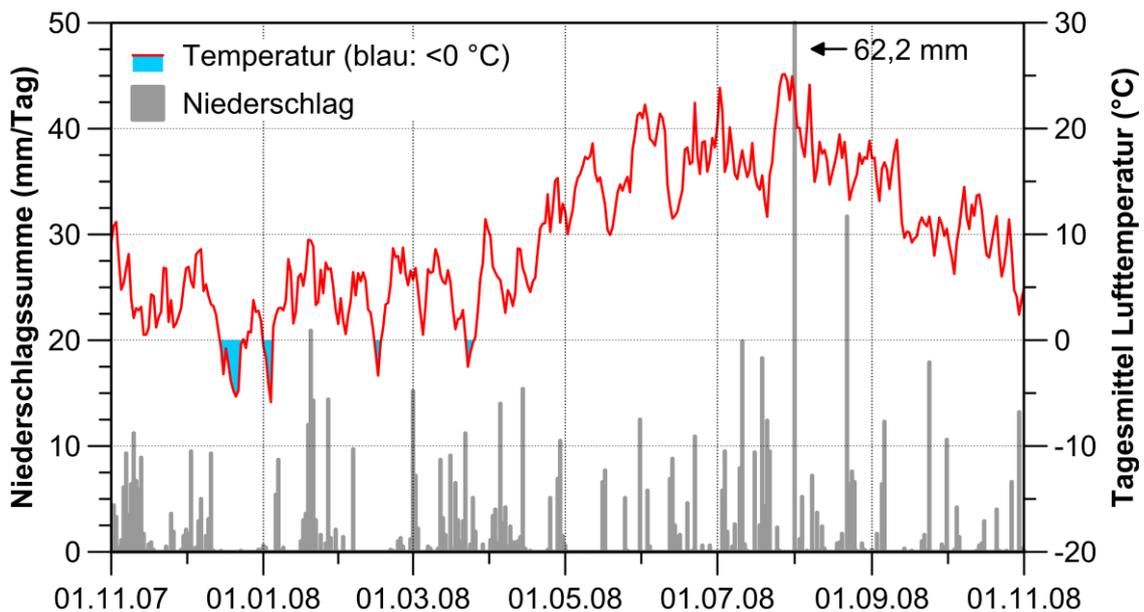


Abb. 5.7: Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2008.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 196 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Niederschlag und Temperatur im hydrologischen Jahr 2009

Zu Beginn des hydrologischen Jahres 2009 setzte sich die niederschlagsarme Periode aus dem vorangegangenen Jahr fort und die Monate November und Dezember waren deutlich zu trocken und zu warm (Abb. 5.8 sowie Tab. D.8 im Anhang). Der Monat Januar 2009 brachte in der ersten Hälfte starken Frost, darüber hinaus war er wieder ein verbreitet deutlich zu trockener Monat in Folge. Die Niederschlagsmengen lagen weit unter den langjährigen Vergleichswerten. Nach den vorangegangenen drei zu trockenen Monaten in Folge lagen die Niederschläge der Monate Februar und März 2009 wiederum über dem Durchschnitt. Insgesamt war aber der Winter relativ mild und brachte nur kurze Frostperioden (Kältesumme 112) und wenig Schnee.

Der Monat April 2009 war dann durch sehr geringe Niederschläge bei warmer Witterung gekennzeichnet und beinhaltete auch die längste Trockenperiode (23 Tage) des Jahres vom 29.03. bis zum 21.04.2009. Erst ab Anfang Mai kam es, wie auch den ganzen Sommer hindurch, wieder zu Niederschlägen, die aber in der Summe der jeweiligen Monate relativ durchschnittlich ausfielen. Den höchsten Niederschlag an einem Tag gab es mit 29,3 mm am 08. Oktober 2009.

Das hydrologische Jahr 2009 ist in Bezug auf die Niederschlagssumme ein unterdurchschnittliches Jahr. Im Vergleich zum 10-jährigen Mittel der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 regnete es 2009 insgesamt 588 mm; dieser Wert liegt 10 % unter dem 10-jährigen Mittel der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 (656 mm).

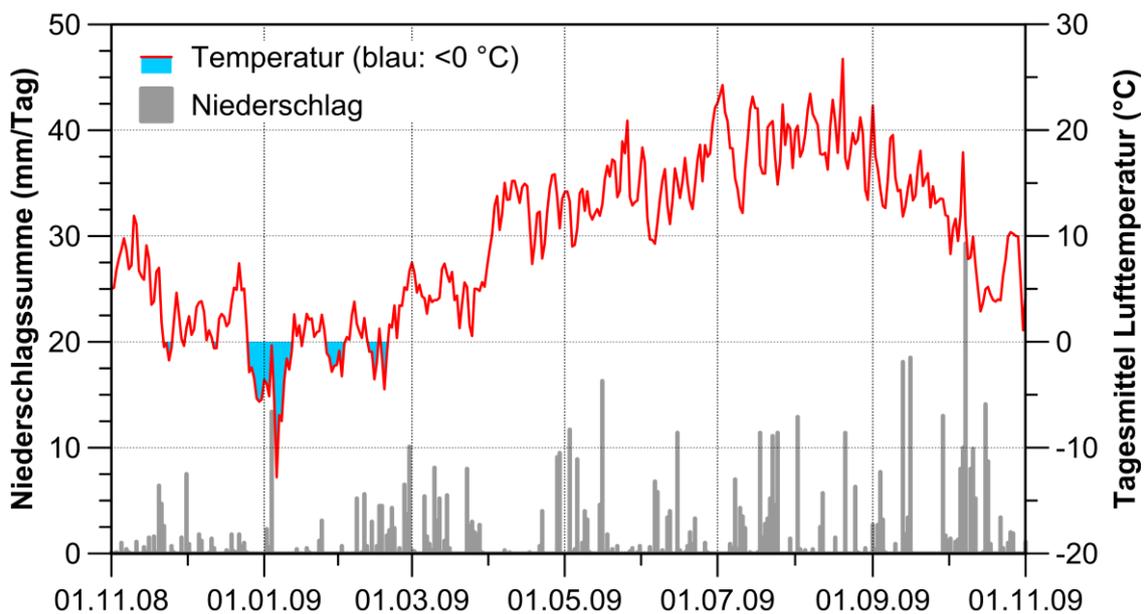


Abb. 5.8: Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2009.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 197 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Niederschlag und Temperatur im hydrologischen Jahr 2010

Nach einer überdurchschnittlich warmen und niederschlagsreichen Periode Anfang November des hydrologischen Jahres 2010, begann der Winter mit ausgesprochen kalten Temperaturen und Schneefällen (Abb. 5.9 sowie Tab. D.9 im Anhang). Diese kalte Witterung setzte sich auch im außergewöhnlich kühlen und schneereichen Januar 2010 fort. Hier brachte insbesondere das Sturmtief „Daisy“ in der Nacht zum 9. Januar und das Schneetief „Keziban“ am 30. Januar weitere Schneefälle. Infolgedessen lagen der Standort, wie auch weite Teile Niedersachsens, im Januar flächendeckend unter einer geschlossenen Schneedecke. Die Schneehöhen betrug durchschnittlich im Flachland zwischen 15 bis 25 cm. Der Monat Januar fiel landesweit insgesamt deutlich zu kalt, schneereich, aber auch vorwiegend zu trocken aus. Ähnlich wie der Januar, war auch der Februar schneereich und kühl. Der lange und frostreiche Winter des Jahres zeigt sich auch in der höchsten Kältesumme von 293 des betrachteten Zeitraumes 2002 bis 2011. Einen deutlichen Temperaturanstieg verbunden mit Schneeschmelze gab es erst ab der letzten Februarwoche. Der März war dann ebenfalls sehr regenreich und überwiegend warm (allerdings mit 7 Frosttagen zu Beginn), dagegen waren der April wie auch der Juni und Juli (längste Trockenperiode mit 22 Tagen vom 20.06. bis zum 11.07.2010) zu trocken. Größere Niederschlagsmengen gab es nur im Mai und dann erst wieder im August und September (höchste tägliche Niederschlagssumme: 37,7 mm am 27.09.)

Bedingt durch die Vielzahl an deutlich zu schnee- bzw. regenreichen Monaten ist 2010 ein überdurchschnittlich niederschlagsreiches Jahr. Insgesamt weist es am Standort Asse eine Niederschlagssumme von 729 mm auf; diese Summe liegt 11 % über dem Durchschnitt der Jahre 2002 bis 2011 (656 mm). Bemerkenswert ist auch die lange Frostperiode mit lang andauernder Schneebedeckung zum Jahreswechsel 2009/10.

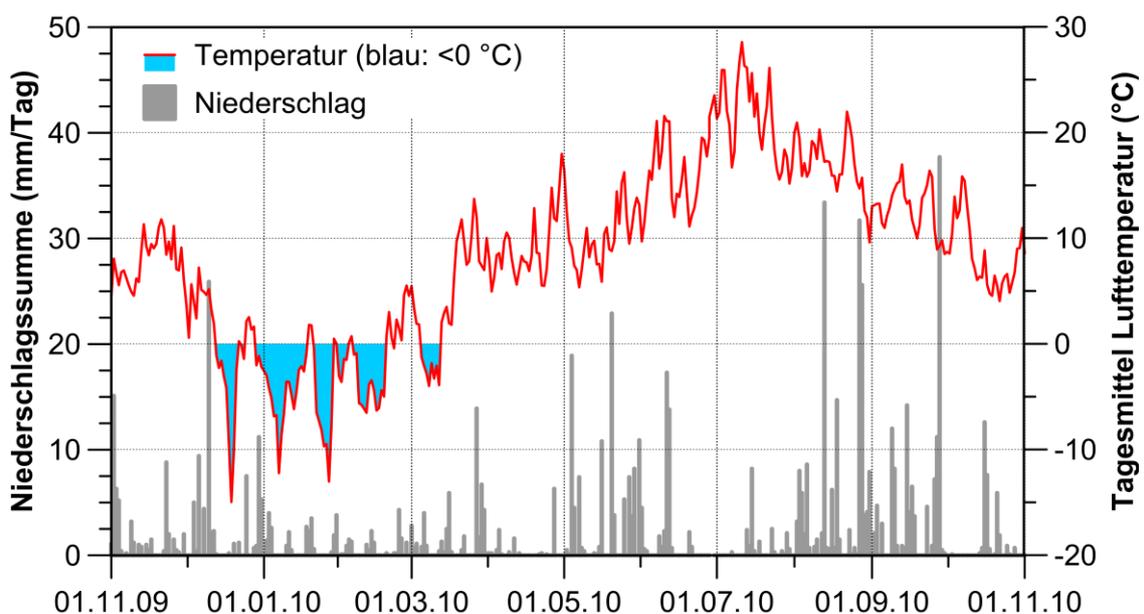


Abb. 5.9: Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2010.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 198 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Niederschlag und Temperatur im hydrologischen Jahr 2011

Nach überdurchschnittlichen Niederschlägen in den Monaten November und Dezember des hydrologischen Jahres 2011, die ab Dezember aufgrund der markant zu kalten Witterung zu einer geschlossenen Schneedecke im Untersuchungsgebiet führten, setzten sich ab dem 6. Januar 2011 milde Luftmassen aus südwestlicher Richtung durch, die diese ausgeprägte Frostperiode mit einer Kältesumme von 229 (dazu kältester Dezember in Niedersachsen seit 41 Jahren) beendeten (Abb. 5.10 sowie Tab. D.10 im Anhang). Zeitgleich traten ergiebige Niederschläge auf, die dann innerhalb weniger Tage zu einer raschen Schneeschmelze und landesweiten Hochwässern führten. Zur Monatsmitte des Januars gab es dann erneut beachtliche Niederschläge mit kurzzeitig frühlingshaften Temperaturen. Dahingegen zeigten die Monate Februar bis einschließlich Mai zwar einen, hinsichtlich der Temperatur durchschnittlichen Verlauf, waren aber markant zu trocken. In diesen Zeitraum fällt auch die längste Trockenperiode mit 21 Tagen vom 16.02. bis zum 08.03.2011. Ergiebige Regenfälle gab es dann erst wieder im Juni und in der ersten Hälfte des Monats Juli sowie im August, in dem es am 23.08. auch die höchste tägliche Niederschlagssumme (31 mm) des Jahres gab, bis in die erste Septemberwoche. Dafür war der restliche September als auch der Oktober deutlich zu trocken.

Die Niederschlagsjahresbilanz des hydrologischen Jahres 2011 beläuft sich auf 574 mm am Standort Asse, damit liegt dieses Jahr 12 % unter dem 10-jährigen Mittel 2002 bis 2011 von 656 mm.

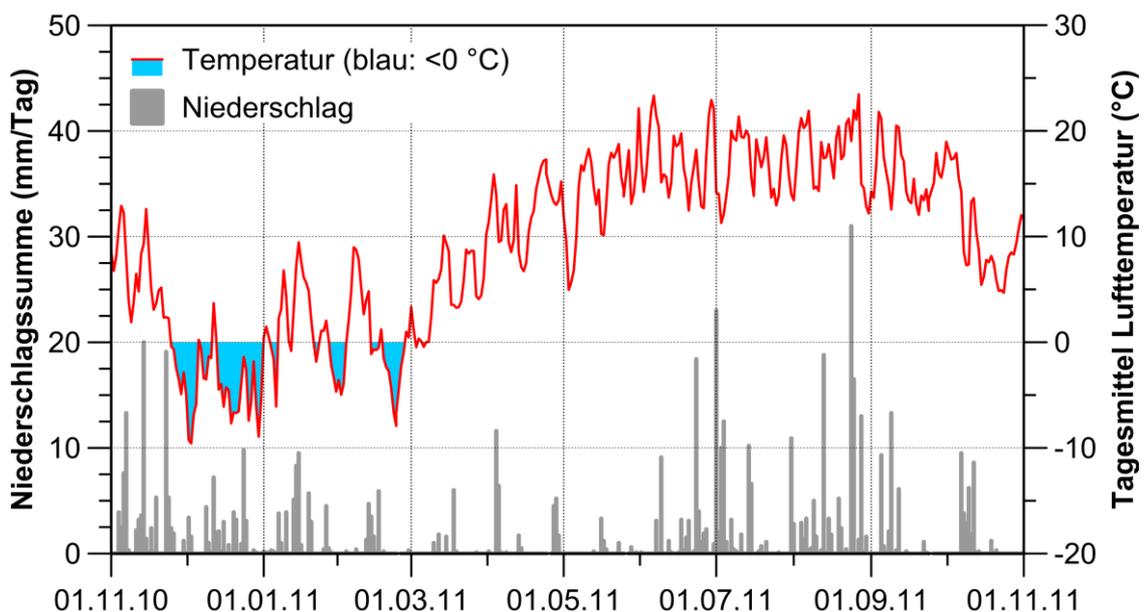


Abb. 5.10: Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2011.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 199 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Niederschlagsgeschehen der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011

Zur Auswertung der Niederschlagsganglinien der Jahre 2002 bis 2011 wurden die entsprechenden Werte in Tab. 5.1 zusammengefasst. Demnach ergibt sich als 10-jähriges arithmetisches Mittel der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 eine Niederschlagssumme von 656 mm/a. Dieser Wert für die mittlere jährliche Niederschlagssumme liegt ca. 9 % bzw. 6 % über dem in [DWD 2001] angegebenen Mittelwert der Jahre 1984 bis 1999 der Station bei Schacht Asse 2 (597 mm/a) sowie über dem Mittelwert der Jahre 1961 bis 1990 der Station Wittmar (616 mm/a). Für die Station Wittmar wird in [Stein 1999] zudem ein Wert für die langjährige Zeitreihe von 1910 bis 1990 ein Mittelwert von 602 mm/a angegeben.

In Bezug auf die Verteilung der Niederschläge innerhalb eines Jahres zeigt die Auswertung der monatlichen Niederschlagssummen in Tab. 5.1:

- Die höchsten monatlichen Niederschlagssummen treten in den Monaten Juli und August auf (höchster Wert 192 mm im August 2002). Der 10-jährige Mittelwert der Niederschlagssumme für diese beiden Monate liegt bei 86 mm.
- Die niedrigsten monatlichen Niederschlagssummen ergeben sich für die Monate Februar (Mittelwert: 31 mm) und April (Mittelwert 29 mm). Der Monat April weist auch die niedrigste monatliche Niederschlagssumme von <1 mm auf, diese wurde im Jahr 2003 gemessen.
- Eine aufeinanderfolgende Abfolge von Monaten mit außergewöhnlich geringen Niederschlagssummen ist der Zeitraum Februar bis Mai 2003, in dem insgesamt nur 31 mm gegenüber dem langjährigen Mittel von 162 mm für den Zeitraum 2002-2011 fielen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 200 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 5.1: Monats- und Jahressummen sowie Mittelwerte der nicht korrigierten Niederschlags-summen der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 im Vergleich zu Daten des [DWD 2001].

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Mittel (1)	Mittel (2)	Mittel (3)
	(mm)	(mm)	(mm)										
Nov.	38	112	28	67	40	22	79	23	53	96	56	46	46
Dez.	68	68	39	20	52	25	37	20	78	47	45	56	50
Jan.	39	66	87	51	29	76	94	22	27	47	54	38	43
Feb.	52	6	48	30	22	46	15	56	19	18	31	35	38
März	44	6	31	28	45	65	82	53	48	11	41	46	43
April	67	<1	12	35	28	6	77	24	12	32	29	44	51
Mai	53	19	72	60	55	147	33	55	111	7	61	55	59
Juni	68	42	74	16	36	95	44	41	41	74	53	66	73
Juli	192	49	119	98	35	103	108	72	20	64	86	64	57
Aug.	52	29	98	46	91	90	139	42	167	111	86	56	72
Sept.	20	82	43	57	16	136	43	74	123	33	63	49	45
Okt.	79	68	23	54	31	29	45	108	31	35	50	42	38
Jahr	772	547	674	562	480	840	796	590	730	575	656	597	616

(1) 10-jähriges arithmetisches Mittel der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011.

(2) Arithmetischer Mittelwert der Jahre 1984 bis 1999 der Station Asse nach [DWD 2001].

(3) Arithmetischer Mittelwert der Jahre 1961 bis 1990 der Station Wittmar nach [DWD 2001].

Zur Verdeutlichung der saisonalen Varianz (Sommer/Winter) und der Abfolge von niederschlagsreichen und -armen Jahren wurden gleitende Durchschnitte über verschiedene Perioden von 92 bzw. 182 Tagen, entsprechend 1/4 und 1/2 Jahr, gebildet (Abb. 5.11). Insgesamt weist die Niederschlagsverteilung einen Jahresgang mit zumeist relativ höheren Sommer-Niederschlägen im Zeitraum Juni bis September sowie – in manchen Jahren – einem sekundären Maximum im Zeitraum November bis Januar auf. Deutlich geringere Monatssummen treten zumeist in den Monaten Februar, März und April sowie im Oktober auf. Die mittlere Jahresniederschlagssumme von 656 mm für die Zeitreihe der hydrologischen Jahre von 2002 bis 2011 ergibt sich zu etwa 39 % im hydrologischen Winterhalbjahr (November bis April) und zu 61 % im hydrologischen Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 201 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

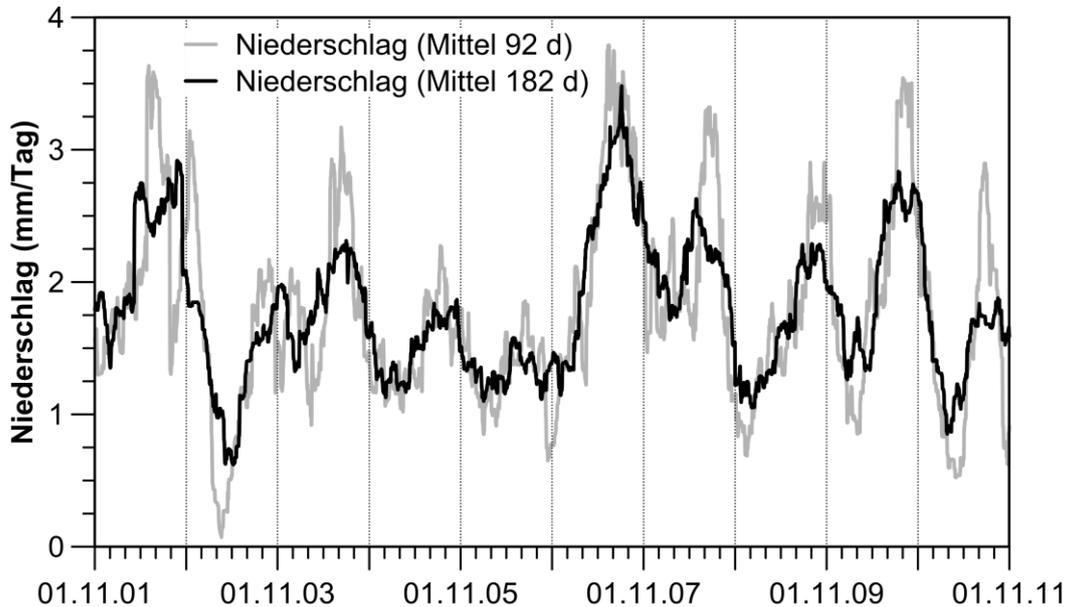


Abb. 5.11: Darstellung der Niederschlagsganglinie der Wetterstation Asse mit Hilfe des gleitenden Durchschnitts der Tagessummen über eine Periode von 92 bzw. 182 Tagen.

Temperaturgeschehen der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011

Im Gegensatz zu den Niederschlägen zeigen die Monats- und Jahresdurchschnittstemperaturen der Wetterstation bei Schacht Asse 2 für den betrachteten Zeitraum der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 deutlich geringere Abweichungen von den langjährigen Mittelwerten für diesen Zeitraum (Tab. 5.2). Der Mittelwert der Lufttemperatur liegt für diesen Zeitraum bei ca. 9,5 °C, d.h. ca. 5 % über dem langjährigen Mittel der Lufttemperatur von 9 °C von 1981 bis 1999 [DWD 2001]. Eine mit 10,7 °C besonders hohe mittlere Jahrestemperatur wurde im hydrologischen Jahr 2007 gemessen. Die hydrologischen Jahre 2002, 2005, 2006, 2009 und 2011 zeichnen sich durch eine durchschnittliche Lufttemperatur aus, die praktisch dem 10-jährigen Mittelwert am Standort entspricht. Die höchsten Monatsmittel der Lufttemperatur treten zumeist im Juli und im August auf. Dabei wurde für den betrachteten Zeitraum ein Maximalwert von 20,9 °C für den Monat August 2003 verzeichnet. Die niedrigsten Monatsmittel sind zumeist in den Monaten Dezember bis Februar zu beobachten. Der niedrigste Wert für den betrachteten Zeitraum ergibt sich mit -4,8 °C für den Januar 2010.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 202 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 5.2: Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011.

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Mittel ⁽¹⁾	Mittel ⁽²⁾
	(°C)	(°C)										
Nov.	4,9	4,9	6,6	4,5	4,9	7,6	4,3	5,1	7,9	4,3	5,5	3,8
Dez.	-0,2	-1,6	2,1	1,8	1,4	5,0	1,9	1,2	0	-4,2	0,7	1,3
Jan.	1,8	0	0	2,6	-2,7	4,8	4	-1,5	-4,8	1,3	0,5	0,5
Feb.	5,2	-2	2,8	-0,6	-0,5	3,7	4,1	0,9	-1,2	0,4	1,3	0,8
März	5,4	5,3	4,5	3,8	1,5	6,8	4,3	4,7	4,4	5	4,6	4,6
April	8,1	8,9	9,8	10,1	8,4	11,7	8,0	12,6	9,3	12,4	9,9	8,6
Mai	14,5	14,7	11,9	13,2	13,5	14,5	14,9	14	10,1	14,4	13,6	13,4
Juni	17,2	19,4	15,3	16,5	17,1	18	17,5	15	16,9	17,4	17	15,6
Juli	17,7	19,7	16,5	18,5	23,1	17,5	18,5	18,9	21,3	16,6	18,8	18,1
Aug.	18,9	20,9	19	16,1	16,1	17,1	17,6	19,3	16,8	18	18	18
Sept.	13,8	14,6	14,1	15,5	17,6	13	12,7	15	12,6	15,8	14,5	14
Okt.	8,1	6	9,9	11,3	12,6	8,3	9,3	7,7	8,4	9,9	9,1	9,6
Jahr	9,6	9,2	9,4	9,4	9,4	10,7	9,8	9,4	8,5	9,3	9,5	9

⁽¹⁾ 10-jähriger arithmetischer Mittelwert der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011.

⁽²⁾ Arithmetischer Mittelwert der Jahre 1981 bis 1999 [DWD 2001].

Klimatologische Kennzahlen und Extremereignisse 2002-2011

Neben den klimatischen Kennzahlen, wie z.B. den Kältesummen, die i.W. das saisonale und lang-jährige Klimaregime am Standort Asse charakterisieren und die u.a. für die Interpretation der längerfristigen Trends der Grundwasserganglinien wichtig sind, können auch Extremereignisse wie z.B. Starkregen von Bedeutung sein, da sie die Reaktion der Grundwasseroberfläche auf kürzeren Zeitskalen zeigen können. Die in Tab. 5.3 gezeigte Zusammenfassung der Kältesummen für den Standort Asse ergibt eine Summe:

- von < 100, d.h. einen milden Winter in den Jahren 2002, 2004, 2007 und 2008,
- zwischen 100 und 199, d.h. einen mäßig warmen Winter 2005, 2006 und 2009 sowie
- zwischen 200 und 299, d.h. einen mäßig kalten Winter 2003, 2010 und 2011.

Starkregen ist nach einer Richtlinie des DWD wie folgt definiert: Niederschlag >5 mm/5 min, >7,1 mm/10 min, >10 mm/20 min und >17,1 mm/60 min. Zudem ist „heftiger Starkregen“ festgelegt als Niederschlag >25 mm/1 h bzw. >35 mm/6 h. Da das Zeitintervall für die Bestimmung der Niederschlagssummen generell bei 10 Minuten lag, wurden nach den DWD-Kriterien nur Starkregene-reignisse >10, >20 und >60 min für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 ausgewertet und zusammengefasst in Tab. 5.3 dargestellt. In diesem Zeitbereich haben zwischen einem und fünf Starkregene-reignisse ausnahmslos in den Sommermonaten Juni bis August stattgefunden.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 203 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 5.3: Darstellung der Tage mit Temperaturmittelwerten $<0\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $>25\text{ }^{\circ}\text{C}$, der Kältesummen, der Starkregenereignisse und der Niederschlagsstage der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 für die meteorologischen Station bei Schacht Asse 2.

Jahr	Tage Mittelwert $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	Kältesumme Nov. – März	Tage Mittelwert $> 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	Starkregenereignisse ⁽¹⁾	Niederschlagsstage ($\geq 0,1\text{ mm/d}$)
	(Anzahl)	(–)	(Anzahl)		(Anzahl)
2002	30	79	4	b) 10.08.: 10,5 mm/20 min c) 17.07.: 19,6 mm/60 min d) 17.07.: 58,9 mm/6 h	224
2003	63	225	10	c) 22.07.: 10,9 mm/60 min	144
2004	42	71	–	a) 18.07.: 14,8 mm/10 min b) 18.07.: 24,3 mm/20 min c) 18.07.: 38,0 mm/60 min d) 18.07.: 44,9 mm/6 h	174
2005	45	100	1	a) 25.07.: 8,1 mm/10 min b) 25.07.: 10,9 mm/20 min	166
2006	70	184	8	Kein Starkregenereignis	174
2007	9	26	1	Kein Starkregenereignis	202
2008	20	48	2	a) 19.07.: 8,1 mm/10 min 01.08.: 22,2 mm/10 min 22.08.: 17,2 mm/10 min b) 01.08.: 40,2 mm/20 min 22.08.: 19,6 mm/20 min c) 01.08.: 51,7 mm/60 min 22.08.: 23,3 mm/20 min d) 01.08.: 61,8 mm/6 h	185
2009	41	112	1	a) 03.05.: 9,2 mm/10 min 16.09.: 9,8 mm/10 min b) 16.09.: 10,8 mm/20 min c) 16.09.: 18,4 mm/60 min	180
2010	65	293	8	Kein Starkregenereignis	192
2011	63	229	–	a) 24.08.: 13,0 mm/10 min b) 23.08.: 13,2 mm/20 min 24.08.: 15,4 mm/20 min c) 23.08.: 23,2 mm/60 min	161

⁽¹⁾ Für die Kategorien gemäß DWD mit Starkregen bzw. heftigem Starkregen: a) $>7,1\text{ mm/10 min}$, b) $>20\text{ mm/20 min}$, c) $17,1\text{ mm/60 min}$ bzw. $>25\text{ mm/1 h}$ und d) $>35\text{ mm/6 h}$ jeweils Maximalwerte mit Datum.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 204 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

5.2.2 Auswertung und Repräsentativität der Niederschlags- und Temperaturdaten

Im Vergleich mit den langjährigen Messreihen für die Niederschlagssummen nach [DWD 2001] in Tab. 5.4 zeigen sich längerfristige Abweichungen der Niederschlagssummen der einzelnen Jahre von den langjährigen Mittelwerten, die für die weitere Betrachtung der hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnisse am Standort Asse von Bedeutung sind:

- Die drei Jahre 2002, 2007 und 2008 weisen positive Abweichungen von 29 % bis 41 % vom langjährigen Mittelwert auf und können damit als deutlich zu nass eingestuft werden.
- Die Jahre 2004 und 2010 weisen positive Abweichungen von 13 % bis 22 % vom langjährigen Mittelwert auf und können damit als zu nass eingestuft werden.
- Das Jahr 2009 entsprach praktisch dem langjährigen Mittelwert und kann somit als durchschnittliches Niederschlagsjahr eingestuft werden.
- Die Jahre 2003, 2005 und 2006 weisen Abweichungen von -8 % bis -27 % vom langjährigen Mittelwert auf und können damit als zu trocken eingestuft werden.

Im Vergleich mit den langjährigen Messreihen für die Niederschlagssummen der Jahre 2002 bis 2011 in Tab. 5.4 zeigt sich prinzipiell ein ähnliches Bild für die Klassifizierung der jährlichen Niederschlagssummen. Bedingt durch den höheren Mittelwert der Jahresniederschlagssumme für diese Zeitreihe sind die prozentualen Abweichungen gegenüber dem Vergleich mit den DWD-Daten nach unten verschoben.

Tab. 5.4: Vergleich der nicht korrigierten jährlichen Niederschlagssummen und der Jahresmitteltemperaturen mit den entsprechenden Werten der Zeitreihen aus [DWD 2001] für die meteorologischen Station bei Schacht Asse 2.

Jahr	Jahressumme Niederschlag	1984-99: 597 mm	2002-11: 656 mm	Jahresmittel Temperatur	1981-99: 9 °C ⁽¹⁾	2002-11: 9,5 °C ⁽¹⁾
	(mm)	(%; DWD)	(%)	(°C)	(%; DWD)	(%; DWD)
2002	772	29	18	9,6	6,8	1,1
2003	547	-8	-16	9,2	2,6	-2,8
2004	674	13	3	9,4	4,3	-1,2
2005	562	-6	-14	9,4	4,9	-0,7
2006	480	-20	-27	9,4	4,6	-0,9
2007	840	41	28	10,7	18,4	12,2
2008	796	33	22	9,8	8,5	2,8
2009	590	-1	-10	9,4	4,7	-0,8
2010	730	22	11	8,5	-5,7	-10,7
2011	575	-4	-12	9,3	3,1	-2,3

⁽¹⁾ Jahresmittel der Lufttemperatur.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 205 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Vergleicht man die in Tab. 5.4 gezeigten Durchschnittstemperaturen für die Zeitreihe 1981 bis 1999 [DWD 2001] bzw. 2002 bis 2011 fällt zuerst der Erwärmungstrend zwischen den Zeitabschnitten auf. Die Zeitreihe 1981-99 weist eine Durchschnittstemperatur von ca. 9 °C auf, während die Zeitreihe 2002 bis 2011 eine deutlich höhere Durchschnittstemperatur von 9,5 °C aufweist.

Weiterhin zeigt der Vergleich, dass die meisten Jahre der Zeitreihe 2002 bis 2011 nur weniger als ± 5 % vom langjährigen Mittelwert der Lufttemperatur von 9 °C nach (1981-99; [DWD 2001]) abweichen. Dabei sind die prozentualen Abweichungen gegenüber dem Mittelwert der Zeitreihe 2002 bis 2011 von 9,5 °C wiederum relativ zu geringeren Werten verschoben.

Ein deutlich höherer Mittelwert der Lufttemperatur ist mit 10,7 °C nur für das Jahr 2007 zu beobachten, dieser Wert entspricht einer positiven Abweichung von 18,4 % vom langjährigen Mittelwert der Lufttemperatur. Ein etwas niedrigerer Mittelwert von 8,5 °C (entspricht -5,7 % Abweichung) tritt nur im Jahr 2010 auf (Tab. 5.4).

Um die Repräsentativität der Niederschlags- und Temperaturdaten der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 zu evaluieren, wurden diese mit Daten der DWD-Stationen in Wittmar, Wolfenbüttel und Braunschweig verglichen. Für diese Stationen liegen aus einem Gutachten [DWD 2001] Monatsmittelwerte für verschiedene Zeiträume vor, die in Tab. 5.5 (nicht korrigierte Niederschlagssummen) und Tab. 5.6 (korrigierte Niederschlagssummen) zusammenfassend dargestellt sind. Die in Tab. 5.5 gezeigten nicht korrigierten Niederschlagsdaten zeigen die folgenden Ergebnisse:

- Die mittlere Niederschlagssumme am Standort Asse der Jahre 2002 bis 2011 liegt etwa 10 % über dem Durchschnitt der Jahre 1964 bis 1999.
- Für den Zeitraum 1964 bis 1999 weichen die mittleren nicht korrigierten monatlichen Niederschlagssummen der DWD-Stationen nur sehr geringfügig (Wittmar +4,3 %; Wolfenbüttel +1,8 %) von der an der meteorologische Station bei Schacht Asse 2 gemessenen Niederschlagshöhe von 597 mm ab.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 206 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 5.5: Vergleich der nicht korrigierten mittleren monatlichen Niederschlagssummen der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für die Jahre 2002 bis 2011 bzw. weiterer Messstationen in der Region nach [DWD 2001].

	DWD Wittmar	DWD Wittmar	DWD Wolfenbüttel	DWD Wolfenbüttel	Schacht Asse 2	Schacht Asse 2
Zeitreihe	1961-90	1984-99	1961-90	1984-99	1984-99	2002-11
November	46	49	45	48	46	56
Dezember	50	57	46	54	56	45
Januar	43	42	39	43	38	54
Februar	38	38	36	38	36	31
März	43	48	41	47	46	41
April	51	45	47	44	44	29
Mai	59	56	54	49	55	61
Juni	73	70	74	68	66	53
Juli	57	65	56	66	64	86
August	72	59	65	56	56	86
September	45	48	45	50	49	63
Oktober	38	46	39	47	42	50
Jahressumme	616	623	586	608	597	656

Ein Vergleich der korrigierten Niederschlagshöhen der verschiedenen Standorte und Zeiträume in nachfolgender Tab. 5.6 zeigt folgendes Ergebnis:

- Für den Zeitraum 1961 bis 1999 liegt die mittlere korrigierte Niederschlagssumme der DWD-Station Braunschweig gleichauf mit dem Wert für den Standort Asse (690 mm).
- Für den Zeitraum 1990 bis 1999 weicht der Wert der DWD Stationen nur sehr geringfügig (Wittmar -4 %; Braunschweig -1,5 %) von der an der meteorologische Station bei Schacht Asse 2 gemessenen und korrigierten mittleren Niederschlagshöhe von 713 mm ab.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Sachstandsbericht Hydrogeologie			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 207 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 5.6: Vergleich der korrigierten mittleren monatlichen Niederschlagssummen der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 mit Daten weiterer DWD-Stationen in der Region nach [DWD 2001].

	DWD-Braunschweig	Station Schacht Asse 2	DWD-Wittmar	DWD-Braunschweig	Station Schacht Asse 2
Zeitreihe	1961-90	1961-99	1990-99	1990-99	1990-99
November	55	52	61	58	61
Dezember	61	57	60	60	61
Januar	52	50	47	48	49
Februar	41	45	43	46	49
März	50	50	56	53	62
April	54	57	52	53	53
Mai	64	65	66	57	66
Juni	80	79	71	67	70
Juli	64	63	70	61	63
August	71	78	66	65	67
September	53	51	54	55	56
Oktober	45	43	57	62	56
Jahressumme	690	690	703	685	713

Insgesamt zeigt dieser Vergleich, dass die Unterschiede zwischen den DWD-Stationen und der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 in Bezug auf die Mittelwerte der Niederschlagssummen bei langjährigen Betrachtungen als gering einzuschätzen sind [DWD 2001].

Weiterhin erlauben diese Niederschlagsdaten den Vergleich von nicht korrigierten und korrigierten Daten, auch wenn die zugrunde liegenden Beobachtungszeiträume jeweils leicht unterschiedlich sind. Während nicht korrigierte Niederschlagssummen – wie im vorangegangenen Kapitel dargestellt – für allgemeine klimatologische Standortbewertungen zugrunde gelegt werden können, erfordert die Verwendung von Niederschlagswerten zur Bilanzierung von Wasserhaushaltsgrößen eine entsprechende Korrektur der Messwerte [Richter 1995]. Der Vergleich der Daten in Tab. 5.5 und Tab. 5.6 ergibt z.B. für die DWD-Station Wittmar etwa 12 % höhere Werte für die korrigierten Niederschlagssummen. Für die Station bei Schacht Asse 2 ergeben sich sogar um bis zu 19 % höhere Werte. Wenngleich aufgrund des jeweils leicht unterschiedlich langen Betrachtungszeitraumes diese Abweichungen nur als erster Anhaltspunkt gesehen werden können, liegt die beobachtete Größenordnung der Abweichung im Bereich des von [Richter 1995] mit 12 bis 13 % angegebenen mittleren prozentualen Niederschlagsmessfehlers für das südliche Norddeutsche Tiefland.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 208 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Ein Vergleich der Lufttemperaturen der Asse Wetterstation mit Daten der meteorologischen DWD-Stationen Salzgitter-Ringelheim und Braunschweig-Völkerode ist in Tab. 5.7 dargestellt. Der Vergleich der mittleren monatlichen Lufttemperaturen zwischen diesen Stationen zeigt eine relativ gute Übereinstimmung in Bezug auf den Verlauf und die absolute Temperatur.

Tab. 5.7: Vergleich der mittleren monatlichen Lufttemperatur der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für die Jahre 2002 bis 2011 mit Daten weiterer DWD-Stationen in der Region [DWD 2001].

	Salzgitter-Ringelheim	Braunschweig-Völkerode	Station Asse	Station Asse
	DWD 1961-90	DWD 1981-99	DWD 1981-99	2002-11
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
November	4,9	4,7	3,8	5,5
Dezember	1,7	2,2	1,3	-0,7
Januar	0,5	1,2	0,5	0,6
Februar	0,8	1,3	0,8	1,1
März	3,9	4,9	4,6	4,6
April	7,8	8,6	8,6	10,0
Mai	12,6	13,3	13,4	13,6
Juni	15,7	15,1	15,6	17,0
Juli	17	18,1	18,1	18,8
August	16,8	17,8	18	18,1
September	13,7	14	14	14,5
Oktober	9,6	9,8	9,6	9,2
Jahresmittelwert	8,8	9,3	9	9,3

5.3 EVAPOTRANSPIRATION

Die potentielle Evapotranspiration gibt an, wie viel Wasser aufgrund von Temperatur, Luftfeuchte, Jahreszeit, Bewuchs und Eigenschaften des Bodens maximal, d.h. bei nicht limitierendem Wassernachschub aus der Tiefe, verdunsten kann [Mattheß & Ubell 2003]. Die reale Evapotranspiration, die z.B. mittels eines Lysimeter bestimmt werden kann, ist i.d.R. deutlich geringer [Mattheß & Ubell 2003].

Für das Gebiet des Asse-Höhenzuges wurde die potentielle Evapotranspiration mittels des Verfahrens nach [Haude 1955] aus den klimatologischen Daten der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 ermittelt. Weiterhin konnten die Ergebnisse einer hydrologischen Untersuchung [DWD 2001] zur Bestimmung der realen (tatsächlichen) Evapotranspiration am Standort Asse herangezogen werden.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 209 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

5.3.1 Potentielle Evapotranspiration nach [Haude 1955]

Zur Berechnung der potentiellen Evapotranspiration aus den klimatologischen Daten eines Standortes existieren verschiedene Ansätze. Zum Teil sind diese physikalisch abgeleitet, wie z.B. das Verfahren nach Penman-Monteith, oder sie beruhen auf der Auswertung empirischer Daten (z.B. das Verfahren nach [Haude 1955]). Insbesondere das empirische Verfahren nach [Haude 1955] wird sehr oft angewendet, da zum einen die benötigten klimatischen Daten, wie z.B. die Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit, an praktisch jeder meteorologischen Station ermittelt werden können. Zudem kann die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration in Normaljahren eine gute Übereinstimmung mit Lysimeterdaten, d.h. mit der tatsächlichen Evapotranspiration, zeigen [Mattheß & Ubell 2003]. Allerdings kann in Jahren mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen die berechnete potentielle Evapotranspiration um 30 % höher und Jahren mit überdurchschnittlichen Niederschlägen um 10 % zu niedrig liegen [Beinhauer 1998]. Weiterhin kommt es insbesondere an Tagen mit starken Niederschlägen und hoher Luftfeuchtigkeit zu einer systematischen Unterschätzung der potentiellen Evapotranspiration [Mattheß & Ubell 2003]. Insofern liefert das Verfahren nach [Haude 1955] zumeist eine grobe Abschätzung der Evapotranspiration auf längeren Zeitskalen (z.B. für Jahressummen).

Die potentielle Evapotranspirationsrate ET_{pot} nach [Haude 1955] ergibt sich nach Gl. (5.1) aus dem Sättigungsdampfdruck und der relativen Luftfeuchtigkeit um 14 Uhr sowie einem empirischen monatsspezifischen Koeffizienten x :

$$ET_{pot} = x \cdot E_{14} \cdot \left(1 - \frac{RF_{14}}{100}\right) \quad (5.1)$$

mit ET_{pot} Potentielle Evapotranspirationsrate ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
 x Monatskoeffizient (-)
 E_{14} Sättigungsdampfdruck um 14 Uhr (Pa)
 RF_{14} relative Luftfeuchtigkeit um 14 Uhr (%)

Dabei errechnet sich der Sättigungsdampfdruck der Luft (E_{14}) aus der Lufttemperatur wie folgt:

$$E_{14} = 4,58 \cdot 10^{\frac{7,45 \cdot t_{Lu}}{235 + t_{Lu}}} \quad (5.2)$$

mit E_{14} Sättigungsdampfdruck der Luft um 14 Uhr (Pa)
 t_{Lu} Lufttemperatur um 14 Uhr ($^{\circ}\text{C}$)

Der empirische spezifische Monatskoeffizient x in Tab. 5.8 ist nach [Haude 1955] prinzipiell nur für unbewachsenen Boden und einen Grundwasserflurabstand von 40 cm gültig. Da diese Voraussetzung für den Bereich des Asse-Höhenzuges nur sehr bedingt gegeben ist und zudem der Einfluss des Windes nicht berücksichtigt wird, sind die berechneten Tagessummen sehr ungenau und dementsprechend werden die Tagessummen zu Monatssummen zusammengefasst.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 210 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 5.8: Empirische spezifische Monatskoeffizienten x (dimensionslos) für unbewachsenen Boden nach [Haude 1955] sowie für Buchenbestand nach [Häckel 1999].

Kultur	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
unbewachsener Boden	0,26	0,26	0,26	0,33	0,39	0,39	0,37	0,35	0,33	0,31	0,26	0,26
Buchenbestand	0,01	0	0,04	0,1	0,23	0,28	0,32	0,26	0,17	0,1	0,01	0

Die mit den empirischen spezifische Monatskoeffizienten für unbewachsenen Boden nach Tab. 5.8 berechneten Monatssummen der potentielle Evapotranspiration für den Standort sind in Tab. 5.9 dargestellt. Der Vergleich der über die hydrologischen Jahre gemittelten Monatssummen der potentiellen Evapotranspiration mit den monatlichen Niederschlagssummen für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 zeigt, dass mit den gegebenen klimatischen Daten und den angenommenen Monatskoeffizienten, die potentielle Evapotranspiration in den Monaten März bis September die Niederschlagshöhe deutlich übersteigt. Nur in den Herbst-Wintermonaten Oktober bis Februar ergibt sich eine geringere potentielle Evapotranspiration als die entsprechende Höhe des Niederschlags.

Tab. 5.9: Mittlere monatliche potentielle Evapotranspiration berechnet nach [Haude 1995] mit den Monatskoeffizienten für unbewachsenen Boden in Tab. 5.8 auf Basis der Daten der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2.

Jahr/ Monat	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Mittel (¹)	Nieder- schlag (²)
	(mm)	(mm)										
November	14	10	17	11	12	22	10	9	20	12	14	56
Dezember	7	5	13	8	7	15	7	6	9	49	13	45
Januar	13	9	8	12	9	17	14	10	49	49	19	54
Februar	24	11	18	12	9	14	25	10	44	44	21	31
März	40	39	35	31	27	49	32	32	73	73	43	41
April	59	90	69	88	75	121	60	118	103	118	90	29
Mai	93	131	78	102	116	107	141	125	69	69	103	61
Juni	102	176	101	122	135	112	146	98	147	135	128	53
Juli	100	178	103	130	261	111	132	154	62	103	133	86
August	126	195	134	91	92	102	108	170	58	117	119	86
September	73	100	83	93	128	56	63	87	58	94	83	63
Oktober	30	27	40	34	49	30	30	25	49	45	36	50
Summe	680	970	699	735	921	756	768	844	740	909	802	656

(¹) Arithmetisches Mittel der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 aus nebenstehenden Werten.

(²) Arithmetisches Mittel der monatlichen Niederschlagssummen der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 gemäß Tab. 5.1.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 211 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Da die zugrunde liegenden Annahmen der Haude-Monatskoeffizienten (für unbewachsenen Boden) für den Bereich des Asse-Höhenzuges nur sehr bedingt gegeben sind, wurden zum Vergleich die Monatskoeffizienten für den auf dem Asse-Höhenzug dominierend Buchenbestand herangezogen. Die Ergebnisse der Berechnung der potentiellen Evapotranspiration nach [Haude 1955] mit diesen Monatskoeffizienten sind in Tab. 5.10 dargestellt. Im Vergleich zu der potentiellen Evapotranspirationsrate die mittels des Monatskoeffizienten für unbewachsenen Boden nach Haude berechnet wurde, ergeben sich mit diesen Monatskoeffizienten deutlich geringere Werte. Die Niederschlagshöhe ist hierbei nur in den Monaten Juli und August geringer als die potentielle Evapotranspiration, ansonsten ergibt sich ein Niederschlagsüberschuss.

Tab. 5.10: Mittlere monatliche potentielle Evapotranspiration berechnet nach [Haude 1955] mit den Monatskoeffizienten für Buchenbestand in Tab. 5.8 auf Basis der Daten der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2.

Jahr/ Monat	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Mittel (1)	Nieder- schlag (2)
	(mm)	(mm)										
November	0,5	0,4	0,6	0	0,5	0,8	0,4	3,4	0,8	0,5	1	56
Dezember	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,9	0,2	45
Januar	0,5	0,3	0,3	0,5	0,4	0,7	14	0	0	0	2	54
Februar	0	0	3	0	0	0	0,9	0	0	0	0,4	31
März	5	5	11	4	3,3	6	0	3,8	19	19	7	41
April	15	23	41	23	19	31	6	30	26	30	25	29
Mai	55	77	56	60	68	63	36	74	52	52	59	61
Juni	77	134	88	92	102	84	91	74	111	102	96	53
Juli	91	163	76	119	239	102	105	141	49	94	118	86
August	99	153	69	72	73	80	105	134	32	92	91	86
September	40	55	27	51	70	31	52	47	32	52	46	63
Oktober	12	10	2	13	19	11	20	10	2	17	12	50
Summe	395	620	372	434	594	411	431	518	323	462	456	656

(1) Arithmetisches Mittel der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 aus nebenstehenden Werten.

(2) Arithmetisches Mittel der monatlichen Niederschlagssummen der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 gemäß Tab. 5.1.

5.3.2 Reale Evapotranspiration nach [DWD 2001]

Die Darstellung der hydrologischen Gegebenheiten des Asse-Höhenzuges in [DWD 2001] umfasst neben der Bewertung des Standortes der meteorologischen Station, auch die Berechnung der realen Evapotranspiration (jährliche Summe und monatlicher Gang) für die Jahre 1990 bis 1999. Zu diesem Zweck wurde die Höhe der Evapotranspiration mit dem Verdunstungsmodell VEKOS für einzelne Flächennutzungsarten (Hydrotupe) simuliert. Grundprinzip der Berechnung der realen



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 212 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Verdunstungshöhen ist die Reduktion der potentiellen Evapotranspiration in Abhängigkeit vom Bodenwasservorrat in der Wurzelzone.

Als Hydrotope werden dabei für den Asse-Höhenzug Laubwälder (Buche), Nadelwälder (Kiefer), landwirtschaftliche Nutzflächen (Ackerland) und grundwasserbeeinflusste Flächen unterschieden [DWD 2001]. Die siedlungsbezogenen Grünflächen und die versiegelten Flächen werden näherungsweise den landwirtschaftlichen Nutzflächen zugerechnet, da sie im Gebiet des Asse-Höhenzuges einen relativ geringen Anteil einnehmen. Die Höhen der realen Evapotranspiration werden bei der Simulation mit VEKOS für die Zeit der Vegetationsperiode (März bis Oktober) in Abhängigkeit vom Verdunstungsanspruch der Atmosphäre und vom Bodenwasserhaushalt der Wurzelzone abgeschätzt. Die jahreszeitabhängige Wasserbilanz der Wurzelzone wird mittels der nutzbaren Feldkapazität, durch die bewuchsabhängige Bodenfeuchteausschöpfung und durch die korrigierte Niederschlagshöhe erfasst. Für den Zeitraum außerhalb der Vegetationsperiode (November bis Februar) erfolgt keine Differenzierung entsprechend des Bewuchses, und es werden meteorologische Bedingungen für die Verdunstung zu Grunde gelegt. Generell werden dafür korrigierte Niederschlagshöhen verwendet.

Die in Tab. 5.11 dargestellte reale Evapotranspiration weist für die Feuchtgebiet-Hydrotope die höchsten mittleren jährlichen Summen auf, während die übrigen Hydrotope Laubwald, Nadelwald und Ackerland z.T. deutlich niedrigere Werte zeigen, wobei die Nadelwälder eine höhere Verdunstung als die Laubwald- und die Ackerland-Hydrotope aufweisen. Für alle betrachteten Hydrotope ist der jährliche Verlauf der Verdunstungshöhe relativ ähnlich und folgt der Bestandsentwicklung, d.h. die geringste Verdunstung tritt von November bis Februar auf. Zur Vegetationsperiode hin steigen die Werte stark an, mit maximalen Verdunstungshöhen für den Zeitraum Mai bis August.

Tab. 5.11: Mittlere Monats- und Jahreswerte der korrigierten Niederschlagshöhen und der berechneten realen Evapotranspiration für die Bestandsarten Ackerland, Nadelwald, Laubwald und Feuchtgebiete gemäß [DWD 2001] für den Zeitraum 1990 bis 1999.

	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Summe
Korrigierte mittlere monatliche Niederschlagssummen (mm)													
Asse Schacht 2	49	49	42	53	66	70	63	67	56	56	61	61	693
Reale mittlere monatliche Evapotranspiration (mm)													
Laubwald	15	15	30	54	87	97	93	76	49	27	13	12	568
Nadelwald	15	15	39	73	95	94	89	72	48	34	13	12	599
Ackerland	15	15	30	55	91	105	92	55	42	32	13	12	557
Feuchtgebiete	15	15	30	60	106	118	122	97	59	35	13	12	682

Der Vergleich mit den korrigierten mittleren monatlichen Niederschlagssummen für den Zeitraum 1990 bis 1999 zeigt, dass die tatsächlichen Verdunstungshöhen in den Monaten September bis Februar deutlich unter den jeweiligen Niederschlagssumme liegen, während sie ab dem Monat April bis in den August zumeist deutlich darüber liegen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 213 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Insgesamt ergibt sich für jedes betrachtete Hydrotop in der Jahresbilanz ein Niederschlagsüberschuss gegenüber der realen Evapotranspiration. Nach den DWD-Modellrechnungen sind dies zwischen etwa 140 mm (Ackerland), 120 mm (Laubwald), 90 mm (Nadelwald) und 10 mm (Feuchtgebiete, im Bereich der Asse nur mit sehr geringen Flächenanteilen vertreten). Zu beachten ist, dass die durch den DWD betrachtete Zeitreihe von 1990 bis 1999 im Vergleich zur repräsentativeren Normalwertreihe 1961 bis 1990 näherungsweise mittlere Niederschlagsverhältnisse aufweist, die reale Evapotranspiration aber aufgrund der wärmeren und sonnenscheinreicheren Witterung in diesem Zeitraum überdurchschnittlich hoch war.

5.4 ABFLUSSRATEN UND -GANGLINIEN

Im Rahmen des 1994 beendeten hydrogeologischen Forschungsprogramms wurden umfangreiche hydrologische Untersuchungen zur Schüttung der Quellen bzw. zum Abfluss der Drainagen und Vorfluter im Gebiet des Asse-Höhenzuges durchgeführt [Maniak 1992; GSF 1994]. Diese Untersuchungen umfassten zum einen Stichtagsmessungen der Schüttung bzw. Abflussrate sowie zum anderen die Erstellung von Ganglinien für eine Vielzahl an Quellen, Vorflutern und Drainagen („M-Messstellen, siehe Übersicht in Kap. 3.3). Nachfolgend wurde ein Großteil der Messstellen zurückgebaut oder durch Verschlammung und Bewuchs unbrauchbar, so dass nur noch sporadische Abflussmengenbestimmungen an Quellen und Drainagen vorgenommen wurden. Erst in den Jahren 2003 und 2004 wurde im Rahmen der Datenerhebung zur Ausarbeitung der hydrogeologischen Modellvorstellungen [Colenco 2006] eine Reihe von M-Messstellen durch Schüttungs- bzw. Abflussmessungen charakterisiert (Kap. 5.4.1). Eine weitere Messkampagne, bei der für 14 Quellen im Zuge der Revision der M-Messstellen [Seidel 2011a] die Schüttung an mehreren Stichtagen bestimmt wurde, fand im Jahr 2010 statt (Kap. 5.4.1).

In Ergänzung zu den bei Stichtagsmessungen bestimmten Abflussraten ausgewählter M-Messstellen liegt eine Ganglinie der täglichen Abflussraten für die Altenau am Pegel Wendessen vor (Kap. 5.4.2). Diese Abflussraten wurden vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) zur Verfügung gestellt.

Abschließend wird in Kap. 5.4.3 die Ganglinie des Lösungszutritts zur Schachanlage Asse II gezeigt, der ebenfalls einen Abfluss von Grundwasser im Gebiet des Asse-Höhenzuges darstellt.

5.4.1 M-Messstellen

Die Messkampagne in den Jahren 2003 und 2004, bei der eine Vielzahl von Quell-, Drainage- und Vorfluter-Messstellen durch Abflussmessungen an mehreren Stichtagen charakterisiert wurde, fand in den Jahren 2003 und 2004 statt [GSF 2003; GSF 2004]. Diese Messkampagne umfasste eine Reihe von Quellen und Drainagen an den Flanken des Asse-Höhenzuges (M63 bis M319, Tab. 5.12 und Abb. A1 bis Abb. A3) sowie Messstellen in der Schöppenstedter und in der Remlinger Mulde (M200V bis M212V; Tab. 5.13 und Abb. A3). Zum angewendeten Verfahren der Abflussbestimmung werden in [GSF 2003; 2004] keine Angaben gemacht; ebenso fehlen Angaben zum Kalibrierungsbereich bzw. zu potentiellen Messfehlern.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 214 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die Schüttung bzw. der Abfluss an diesen Messstellen wurde jeweils im Mai, August und September 2003 sowie letztmalig im Mai 2004 bestimmt. Die Unterschiede der Abflussraten zwischen den einzelnen Messkampagnen sind teilweise beträchtlich und die Aussagekraft der Messwerte muss im Kontext der meteorologischen Daten des jeweiligen hydrologischen Jahres interpretiert werden. Insbesondere das hydrologische Jahr 2003 war in Bezug auf den Niederschlags- und Temperaturverlauf ein extremes Jahr (vgl. Kap. 5.2). Das Frühjahr 2003 war durch eine ungewöhnlich lange Trockenperiode mit stark unterdurchschnittlichen Niederschlagshöhen bei gleichzeitig stark überdurchschnittlichen Temperaturen charakterisiert. Gleiches galt für die Sommermonate 2003, die nur wenige Starkregenereignisse, und in der Summe ebenfalls stark unterdurchschnittliche Niederschläge aufwiesen. Erst im September 2003 traten ergiebige Niederschläge auf, die dann zu Hochwasserereignissen führten. Die Monate März und April des hydrologischen Jahres 2004 wiesen stark unterdurchschnittliche Niederschlagshöhen auf, und es gab im April eine längere Trockenperiode von 10 Tagen gänzlich ohne Niederschläge. Nach stärkeren Niederschlagsereignissen Anfang Mai 2004 war dann die zweite Maihälfte überwiegend trocken.

Entsprechend der Niederschlags- und Temperaturverläufe in den hydrologischen Jahren 2003 und 2004 sind somit diese Schüttungs- bzw. Abflusswerte während unterdurchschnittlich niederschlagsreichen Perioden (Mai 2003, August 2003, Mai 2004) sowie während einer überdurchschnittlich niederschlagsreichen Periode (September 2003) bestimmt worden. Ihre Aussagekraft für die durchschnittlichen hydrologischen Verhältnisse am Asse-Höhenzug und dessen Umland ist somit begrenzt. Zudem wurde die Messkampagne im September 2003 während eines Hochwasserereignisses begonnen, dann unterbrochen und erst nachdem das Hochwasser abgeklungen war wieder aufgenommen. Insofern beschränkt sich die Auswertung der Schüttungs- und Abflusswerte auf die folgenden wesentlichen Punkte, die im Rahmen des hydrologischen Messnetz für die Quellen (Tab. 5.12) von Bedeutung sind:

- Nur wenige Quellen, wie z.B. die Abendquelle (M311), zeigen relativ konstante Schüttungen.
- Ein Teil der Quellen ist im August 2003 trocken gefallen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 215 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 5.12: Schüttungen bzw. Abflussraten der Quellen und Teichabläufe nach [GSF 2003; 2004].

Mess- stelle	Lage/Ortsname	Mai 2003	August 2003	September 2003	Mai 2004
		(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)
M63	Quelle Bleier Graben		2,96	keine Messung	
M300	Düweteich	keine Messung	1,27	1,2	keine Messung
M300a	Düweteichablauf	1,9	keine Messung	0,8	1,62
M305a	Solquelle	keine Messung	keine Messung	9,6	keine Messung
M305b	Solquellablauf	17,23	8,95	keine Messung	14,7
M306	Tünneckenborn	0,01	keine Messung	keine Messung	0,08
M306a	Tünneckenborn	fast versiegt	trocken	keine Messung	0,05
M306b	Östlich M306	fast versiegt	trocken	keine Messung	keine Messung
M306c	Westlich M306	keine Messung	keine Messung	keine Messung	keine Messung
M307	Quelle Berklingen	keine Messung	0,45	keine Messung	3,2
M307a	Nördlich M307	keine Messung	keine Messung	keine Messung	0,33
M308	Ösel-Westseite	0,42	fast trocken	keine Messung	0,45
M309	Ösel-Ostseite	0,18	trocken	keine Messung	keine Messung
M309a	Östlich M309	0,6	trocken	keine Messung	1,26
M310	Quelle N Uehrde	2,03	fast trocken	keine Messung	0,08
M311	Abendquelle	1,06	0,89	0,9	0,94

In Bezug auf die Vorfluter lassen sich die folgenden Schlüsse aus den Abflussdaten in Tab. 5.13 und in Tab. 5.14 ziehen:

- Der Abfluss der Altenau nimmt generell zwischen dem Messpunkt M201V bei Groß Vahlberg bis zum Messpunkt M319a kurz vor der Einmündung der Altenau in die Oker deutlich zu. Die Abflussmenge verdoppelt sich dabei (Mai und August 2003) bzw. verdreifacht sich (Mai 2004). Der Abfluss in der Altenau nimmt aber nicht immer von stromaufwärts zu stromabwärts gelegenen Messpunkten zu. An manchen Streckenabschnitten lässt sich stromabwärts eine Abnahme des Abflusses beobachten. Dies deutet auf Versickerungsstellen im Flussbett der Altenau hin. Der Vergleich der durch den NLWKN am Pegel Wendessen gemessenen Abflussraten mit den an der Messstelle M206V bestimmten Abflussraten (siehe Kap. 5.4.2) zeigt eine relativ gute Übereinstimmung für die Werte im Jahr 2003, nur für die Werte des Jahres 2004 liegen die NLWKN-Werte deutlich unter den durch [GSF 2004] bestimmten Abflussraten.
- Der Abfluss des Rothebachs ist am Messpunkt M211V bei Wittmar im Vergleich der vier Messkampagnen relativ konstant bei Werten zwischen etwa 8 bis 11 l/s. bei der Messstelle M208V kurz vor Klein Denkte hat sich dieser Abfluss z.T. etwas mehr als verdoppelt (Mai und August 2003) bzw. verfünffacht (Mai 2004).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 216 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- Die Wippe (M210V) war bei den vier Messkampagnen praktisch trocken.
- Ein Teil der Vorfluter bzw. Drainagen ist im August 2003 trocken gefallen: die Silbeek, die Rottebeek, der Pfingstanger, der Hellebach, die Hasenbeeke und der Bruchanger.

Tab. 5.13: Abflussraten der M-Messstellen an der Altenau [GSF 2003; GSF 2004].

Messstelle	13.-19. Mai 2003	7.-8. August 2003	8.-15. September 2003 ⁽¹⁾	15.-19. Mai 2004
	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)
M201V	237,57	53,12	1192,3	364,23
M202V	213,58	80,69	1735,3 ⁽²⁾	378,3
M203V	364,93	96,21	370	487,26
M203aV	407,52	57,55	keine Messung	591,14
M204V	327,11	95,77	keine Messung	430,5
M205V	346,58	85,68	298,5	579,2
M206V	404,47	70,35	413,9	712,22
Pegel Wendessen ⁽³⁾	301 bis 390	76 bzw. 80	99 bis 621	395 bis 448
M207V	keine Messung	136,18	keine Messung	keine Messung
M207bV	361,67	100,08	1645,6	552,72
M319a	keine Messung	103,38	145,4	1231,33

⁽¹⁾ Messkampagne vor und nach Hochwasserereignis (vgl. Text), daher Daten nicht auswertbar.

⁽²⁾ In Tabelle 9c in [GSF 2004] befindet sich ein weiterer Messpunkt mit der Bezeichnung M202V und einem Abfluss von 81,5 l/s. Dieser Wert ist offenkundig fehlerhaft und wird hier nicht berücksichtigt.

⁽³⁾ Datenbasis: NLWKN (siehe Kap. 5.4.2). Hier sind mit Ausnahme des August 2003 (nur zwei Werte) jeweils die minimalen und maximalen Abflusswerte für den Zeitraum angegeben.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 217 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 5.14: Abflussraten der Vorfluter-Messstellen im Gebiet des Asse-Höhenzuges und Umgebung (ohne Altenau) nach [GSF 2003; GSF 2004].

Messstelle	Lage/Ortsname	13.-19. Mai 2003	7.-8. August 2003	8.-15. Sep- tember 2003	15.-19. Mai 2004
		(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)
M200V	Neindorfer Bach	15,53	9,13	141,1	85,35
M200aV	Westlich M200V	21,50	keine Mes- sung	keine Messung	6,54
M201aV	Neindorfer Bach	27,42	6,53	208,6	35,20
M203aV	Hachumer Bach	27,36	0,64	32,5	45,60
M203bV	Silbeek	16,70	trocken	keine Messung	19,76
M206aV	Denkter Graben	46,66	15,46	19,7	20,88
M211V	Rothebach	9,60	8,00	10,6	11,00
M208V	Rothebach	21,44	19,53	62,3	49,31
M207aV	Rothebach	21,46	4,59	31,6	81,81
M209V	Rothebach	37,98	12,85	keine Messung	44,16
M210V	Wippe	trocken	trocken	keine Messung	trocken
M212V	Großer Graben	42,02	6,3	65,0	24,79
M301	Rottebeek	keine Messung	trocken	keine Messung	keine Messung
M302	Graben Watzum	2,64	0,04	0,6	0,80
M303	Schmaler Bach	43,24	5,29	40,4	39,60
M304	Ostbach	21,80	1,63	57,8	96,70
M312	Wiesengraben	13,78	6,88	11,8	53,73
M313	Soltau	66,60	5,7	88,5	126,90
M314	Pfingstanger	6,00	trocken	10,4	14,95
M315	Schiffgraben	260,85	57,60	215,4	249,84
M315a	Schiffgraben	21,95	8,10	keine Messung	110,94
M315b	Neuer Graben	120,30	34,56	keine Messung	76,82
M316	Hellebach	keine Messung	trocken	keine Messung	0,10
M317	Hasenbeeke	5,29	trocken	3,7	9,36
M318	Großer Graben	77,90	1,01	65,3	86,02
M319	Bruchanger / Papenkamp	9,6	trocken	keine Messung	18,72

Weitere Abflussmessungen im Gebiet des Asse-Höhenzuges und der angrenzenden Schöppenstedter- und Remlinger Mulde wurden im Rahmen der Revision der M-Messstellen von [Seidel 2011a] durchgeführt. Dabei wurden für 14 Messstellen im März und April 2010 an mehreren Stich- tagen Abflussmessungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tab. 5.15 dargestellt.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 218 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 5.15: Abflussraten der M-Messstellen nach [Seidel 2011a].

Messstelle	Lage / Ortsname	Messwert (l/s)	Datum der Messung
M2	Pastorenquelle an der Straße Remlingen - Groß Vahlberg, im Bereich von Quer- und Diagonalstörung	1,90	28.03.2010 und 18.04.2010
M10	Quelle nördlich von Schacht Asse 1 (Rötquelle)	15 18,18	28.03.2010 20.04.2010
M40	Quellüberlauf der alten Wasserversorgung Mönchevahlberg	1,97	18.04.2010
M43	Löffelgrabenquelle, NE Remlingen	0,59	28.03.2010
M46	Quelle hinter Wasserbehälter M51 Groß Vahlberg	0,05 bis 0,08	28.03.2010
M48	Quelle im Wald, Remlinger Herse (Quelle NW Schacht Asse 2)	0,08	28.03.2010
M50	Quelle im Wald Klein Vahlberger Buchen (W Klein Vahlberg)	„sehr gering“	28.03.2010, 18.04.2010, 20.04.2010, 20.05.2010
M55a	Quelle des Huckentalbachs, SW Sandberg	0,77	28.03.2010
M80	Quelle W Mönchevahlberg	0,13	28.03.2010
M80a	Quelle W Mönchevahlberg	0,15	28.03.2010
M306	Quellen "Tünneckenborn", SW Rocklum	0,03	29.03.2010
M307-1	Quelle SSE Berklingen	0,04	27.03.2010
M307-2	Quelle SSE Berklingen	0,45	27.03.2010
M311	Quelle „Abendquelle“ SE Hedeper	0,59	29.03.2010

5.4.2 Pegel der Altenau bei Wendessen

Für die Altenau liegen neben den in Kap. 5.4.1 genannten Stichtagsmessungen an den M-Messstellen Abflussdaten des NLWKN vor. Diese Abflussdaten umfassen zum einen die auf langjährige Messreihen basierenden Hauptwerte der Altenau am Pegel Wendessen entsprechend dem Gewässerkundlichen Jahrbuch [NLWKN 2010] in Tab. 5.16. Zum anderen liegen Tageswerte des Abflusses der Altenau am Pegel Wendessen (Messstellen-Nummer: 4826108; Koordinaten: ³⁶08937 und ⁵⁷80798) für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 vor (Abb. 5.12).

Entsprechend dem Gewässerkundlichen Jahrbuch [NLWKN 2010] entwässert die Altenau ein oberirdisches Einzugsgebiet von 118 km². Basierend auf den Daten der Zeitreihe 1964 bis 2010 ergibt sich ein Mittelwert des Abflusses von 0,505 m³/s sowie ein Mittelwert der Abflusshöhe bezogen auf das gesamte Einzugsgebiet von 135 mm (Tab. 5.16).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 219 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 5.16: Gewässerkundliche Hauptwerte der Altenau am Pegel Wendessen für die Zeitreihe 1964 bis 2010.

Wert	Zeichen	Einheit	Wert
Niedrigster Abfluss	NQ	m ³ /s	0,018 (19.09.91)
Mittlerer niedrigster Abfluss	MNQ	m ³ /s	0,101
Mittelwert des Abflusses	MQ	m ³ /s	0,505
Mittlerer höchster Abfluss	MHQ	m ³ /s	5,44
Höchster Abfluss	HQ	m ³ /s	14,1 (16.01.68)
Mittlere niedrigste Abflussspende ⁽¹⁾	MNq	l/s·km ²	0,856
Mittelwert der Abflussspende ⁽¹⁾	Mq	l/s·km ²	4,28
Mittlere höchste Abflussspende ⁽¹⁾	MHq	l/s·km ²	46,1
Mittelwert der Abflusshöhe ⁽²⁾	MhA	mm	135

⁽¹⁾ Die Abflussspende stellt den Quotienten aus dem Abfluss und der Einzugsgebietsfläche dar.

Der Mittelwert der Abflusstageswerte für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 liegt bei 0,613 m³/s und somit nur wenig über dem in Tab. 5.16 genannten Wert nach [NLWKN 2010] für die langjährige Zeitreihe 1964 bis 2010. Der niedrigste Abfluss von 0,044 m³/s im betrachteten Zeitraum wurde am 31.07.2003 erreicht. Neben diesem markanten Tiefstand im Herbst 2003 ergaben sich weitere Tiefstände im Herbst 2005 und Herbst/Winter 2006/07 die längere Perioden mit einem Tagesmittel von <0,1 m³/s aufwiesen. Der höchste Abfluss von 9,945 m³/s wurde am 22.01.2008 erreicht, wobei der Jahreswechsel 2007/08 durchgehend überdurchschnittliche Abflusswert >1 m³/s aufwies. Weitere längere Perioden mit hohen Abflusswerten >1 m³/s wurden jeweils zum Jahreswechsel 2002/03, 2009/10 und 2010/11 beobachtet.

Der mittlere niedrigste Abfluss (MNQ) wird nach [Wundt 1953] als Maß für den mittleren Grundwasserabfluss angesehen, oberhalb dem in den einzelnen Monaten mit einem nennenswerten Oberflächenabfluss zu rechnen ist. Mithilfe des in Tab. 5.16 genannten Wertes für den MNq von 101 l/s errechnet sich eine GW-Neubildungsrate im gesamten Einzugsgebiet der Altenau von 27 mm/a.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 220 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

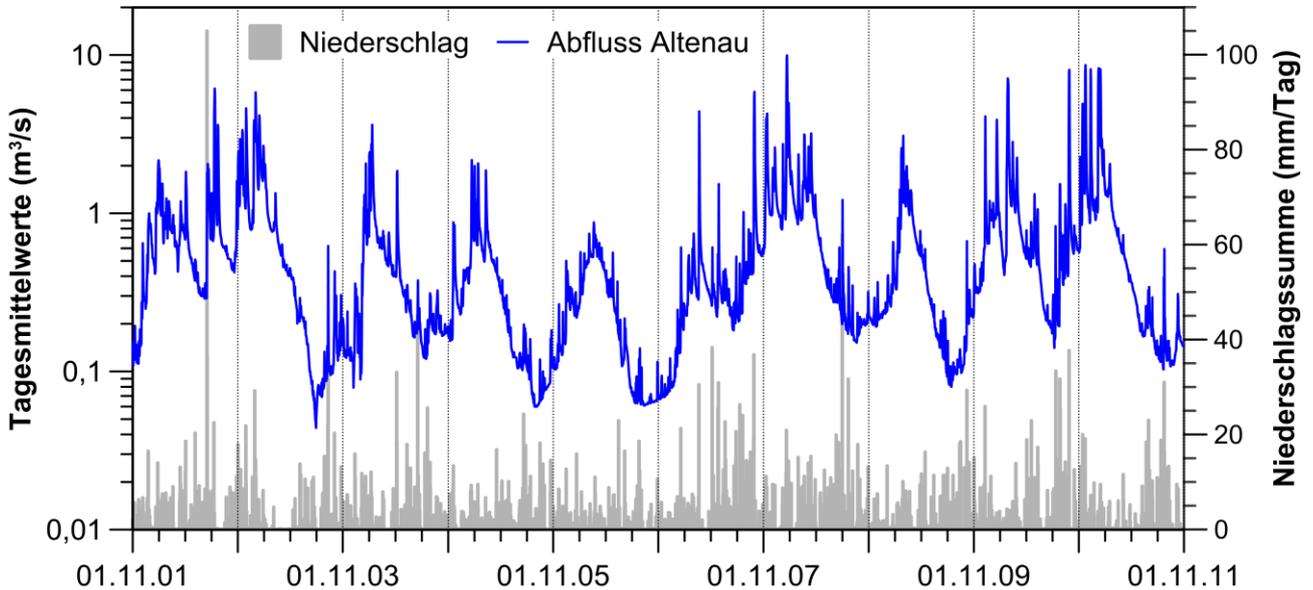


Abb. 5.12: Semilogarithmische Abflussganglinie basierend auf Tageswerten des Abflusses der Altenau am Pegel Wendessen für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 (Datenbasis: NLWKN).

Aufgrund der täglichen Abfluss-Mittelwertbildung ist die Verzögerung zwischen einzelnen Niederschlagsereignissen und Abflussmaxima der Altenau nur mit limitierter zeitlicher Auflösung zu ermitteln. Wie die gegenüber Abb. 5.12 zeitlich höher aufgelöste Darstellung der Abflussganglinie in Abb. 5.13 zeigt, korrespondieren einzelne Niederschlagsereignisse mit kurzzeitigen Anstiegen des Abflusses der Altenau, zudem zeigt sich eine starke Reaktion auf die rasche Schneeschmelze Anfang Januar 2011. Nur vereinzelt ist eine Verzögerungen von entsprechenden Abflussmaxima von ein bis zwei Tagen gegenüber einzelnen Niederschlagsereignissen zu beobachten.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 221 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

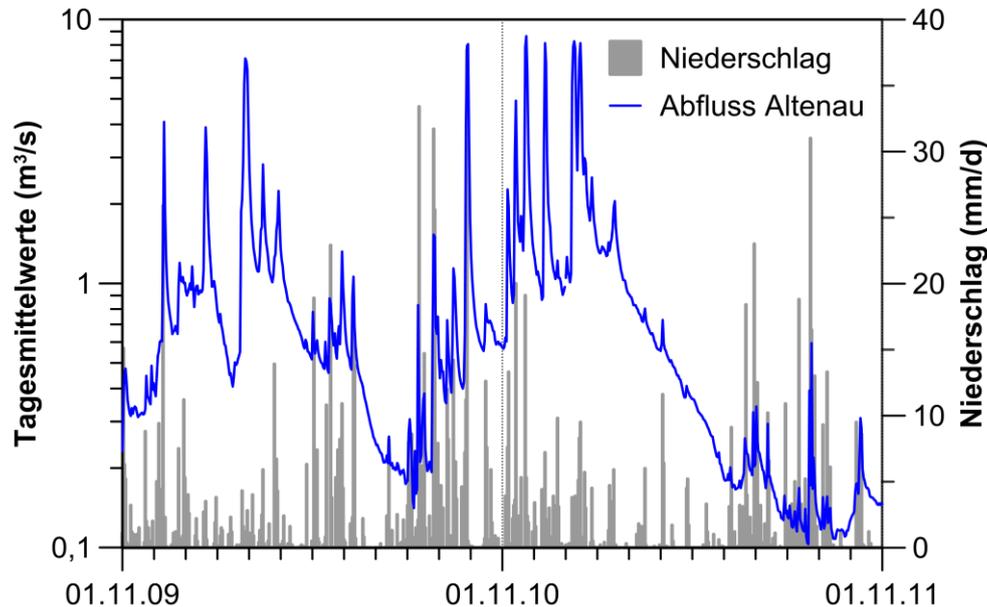


Abb. 5.13: Semilogarithmische Abflussganglinie basierend auf Tageswerten des Abflusses der Altenau am Pegel Wendessen für die hydrologischen Jahre 2010 und 2011 (Datenbasis: NLWKN).

5.4.3 Grundwasserabflüsse in das Grubengebäude Asse II

Nach [Stockmann et al. 2006] sind seit 1912 etwa 60 Salzlösungszutrittsstellen für das Grubengebäude der Schachanlage Asse II dokumentiert. Dabei versiegt der überwiegende Teil relativ rasch und nur wenige Zutrittsstellen schütteten über einen längeren Zeitraum bzw. sind auch heute noch aktiv. Unter Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse und der Position innerhalb des Grubengebäudes können die Zutrittsstellen folgenden sechs Bereichen bzw. Speichervolumen zugeordnet werden:

1. Salzlösungszutritte im Bereich der Schachtröhren
2. Salzlösungszutritte aus Hauptanhydritschollen
3. Salzlösungszutritte aus dem Anhydritmittelsalz im nordöstlichen Teil des Grubengebäudes
4. Salzlösungszutritte aus dem Leine-Salz
5. Salzlösungszutritte im Bereich der Kontaktfläche Kalisalzflöz Staßfurt/Leine-Salz
6. Salzlösungszutritte im Bereich der Südflanke der Salzstruktur Asse

Im Hinblick auf die Zutrittsrate sind die unter Punkt 1 bis 5 genannten Bereichen bzw. Speichervolumen gering bzw. mittlerweile versiegt [Schwandt et al. 2008] und somit für die Langzeitsicherheit der Schachanlage Asse II nicht relevant. Ein mengenmäßig bedeutsamer Salzlösungszutritt findet seit dem Jahr 1988 im Bereich der unter Punkt 6 genannten Südflanke der Asse-Salzstruktur statt. Dort dringt entsprechend der bestehenden Modellvorstellung nach [Stockmann et al. 2006] an Steinsalz gesättigte Salzlösung zwischen ca. 500 m bis 574 m Tiefe (d.h. zwischen ca. -300 mNN



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 222 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

und -374 mNN) aus dem Rötanhydrit in die Steinsalzbarriere ein. Im Grubengebäude fließt die Lösung entlang der Auflockerungszone nach unten und wird derzeit auf der 637-m- und der 658-m-Sohle sowie auf der 725-m- und der 750-m-Sohle aufgefangen. In den Jahren bis 1998 ist die dort gefasste Zuflussmenge mehrfach sprunghaft gestiegen, bis sie sich seit dem Jahr 2000 auf Werte zwischen ca. 11 m³/d bis ca. 12,5 m³/d stabilisiert hat [Stockmann et al. 2006]. Nach dem ersten Auftreten von Salzlösung im Baufeld der Südflanke wurden umfangreiche Untersuchungen zur Klärung der Herkunft und der Fließwege durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sowie die daraus abgeleiteten Modellvorstellungen zur Herkunft der Lösungszutritte werden in diversen Berichten dargestellt und diskutiert (u.a. [Ercosplan 2004], [Colenco 2006], [Schmidt 2006], [Stockmann et al. 2006], [Asse-GmbH 2009]).

Für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 sowie für die Jahre 2010 und 2011 ist die Summe der auf der 637-m- und die 658-m-Sohle täglich gefassten Zutrittslösung in Abb. 5.14 und Abb. 5.17 sowie für die 725-m- und die 750-m-Sohle in Abb. 5.15 und Abb. 5.18 gezeigt. Die Gesamtsumme der auf diesen Sohlen in der Schachanlage Asse II täglich gefassten Lösungszutritte ist jeweils in der Abb. 5.16 sowie Abb. 5.19 dargestellt. Insgesamt zeigen sich für den betrachteten Zeitraum 2002 bis 2011 Werte zwischen min. ca. 11 m³/d bis max. ca. 13,2 m³/d mit insgesamt geringen Schwankungen (eine Ausnahme sind die mit starken Ausreißer in der Jahresmitte 2005 bedingt durch Sanierungsarbeiten in Abbau 3/658). Am Ende des hydrologischen Jahres 2011 betrug die Summe der täglich gefassten Zutrittslösung für die genannten Sohlen in der Südflanke ca. 11 m³/d.

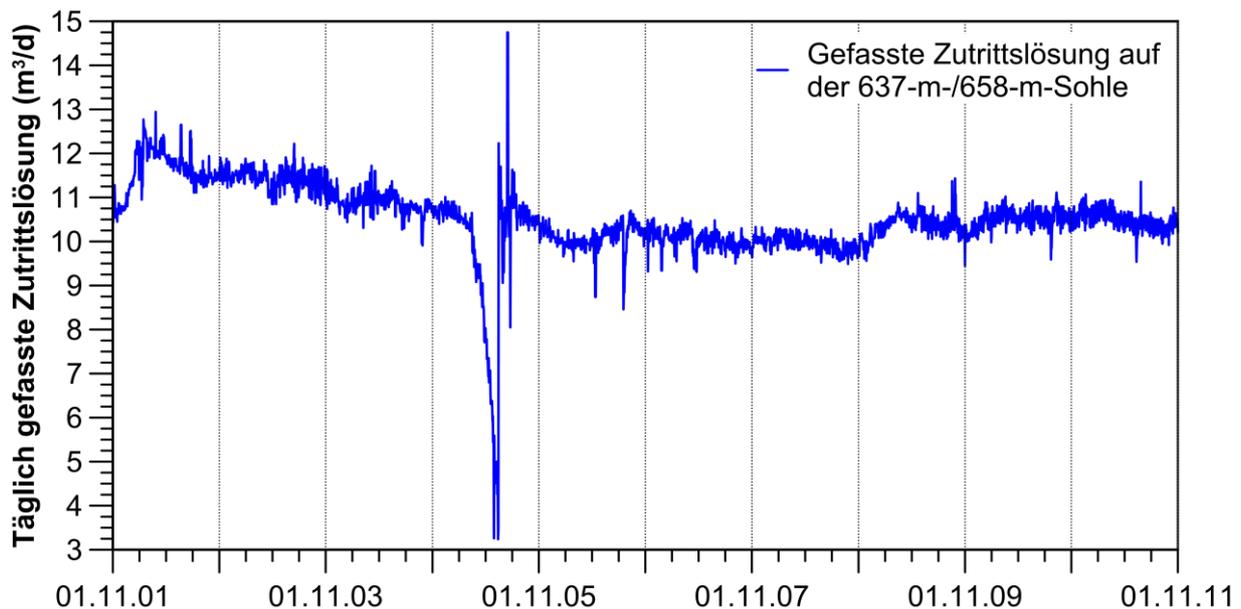


Abb. 5.14: Summe der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 637-m- und 658-m-Sohle in der Südflanke der Schachanlage Asse II (hydrologische Jahre 2002-2011).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 223 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

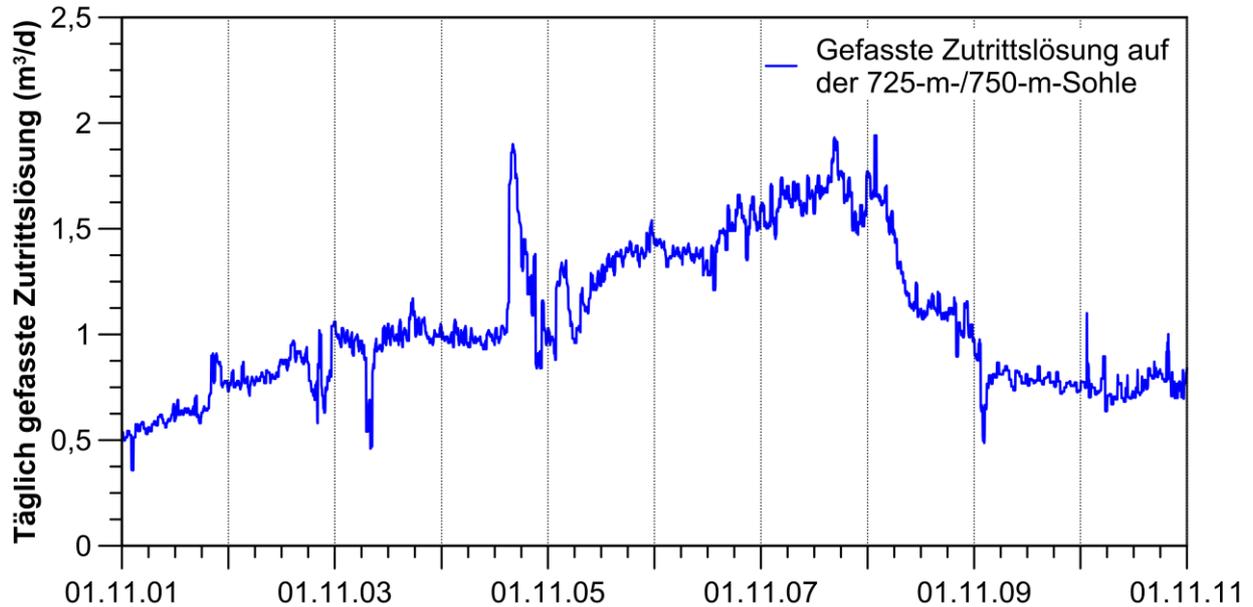


Abb. 5.15: Summe der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 725-m- und 750-m-Sohle in der Südflanke der Schachanlage Asse II (hydrologische Jahre 2002-2011).

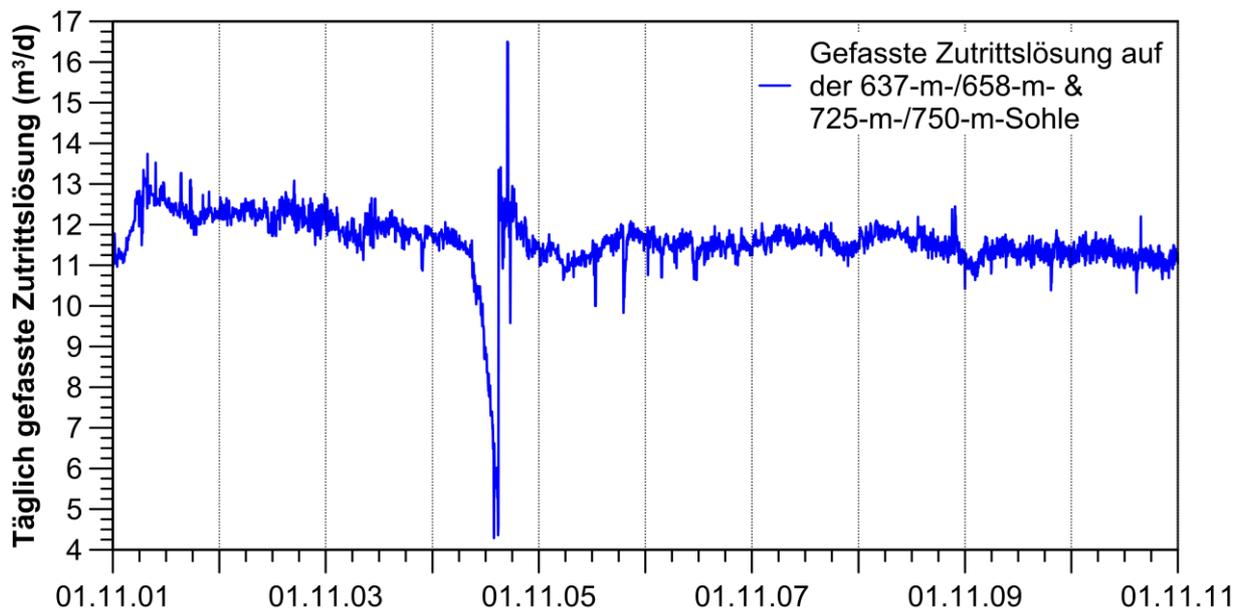


Abb. 5.16: Gesamtsumme der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 637-m- und 658-m-Sohle sowie der 725-m- und 750-m-Sohle in der Südflanke der Schachanlage Asse II (hydrologische Jahre 2002-2011).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 224 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

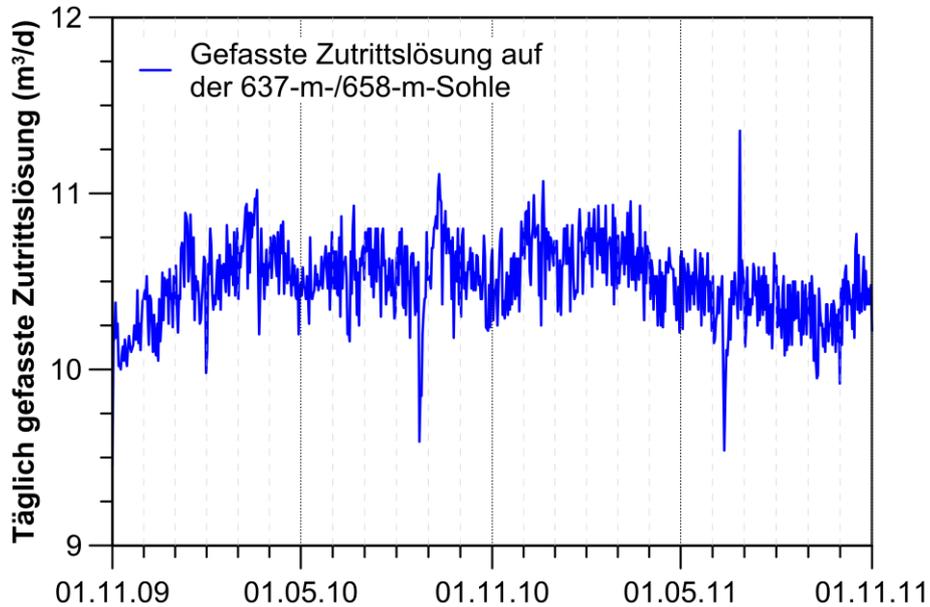


Abb. 5.17: Summe der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 637-m- und 658-m-Sohle in der Südflanke der Schachanlage Asse II (hydrologische Jahre 2010 und 2011).

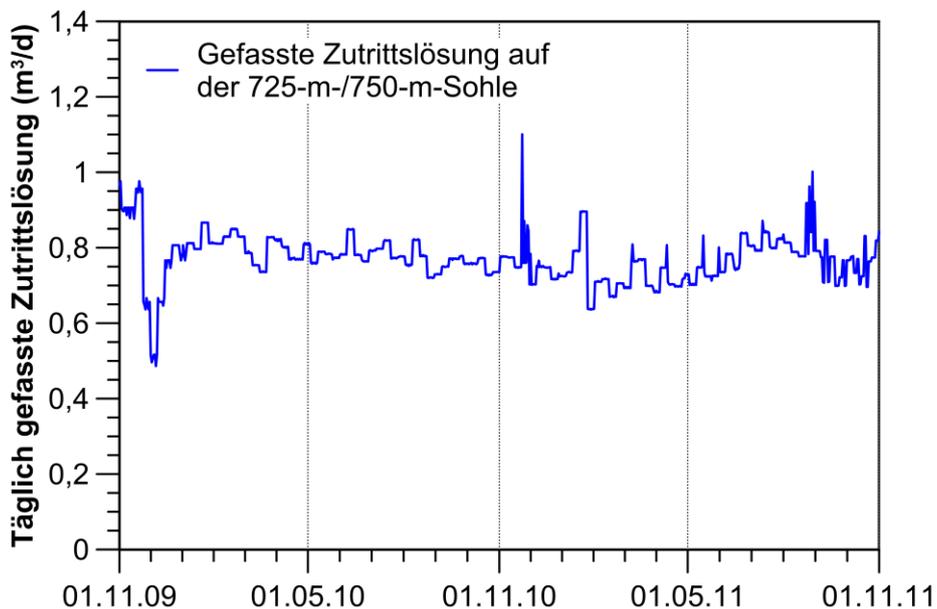


Abb. 5.18: Summe der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 725-m- und 750-m-Sohle in der Südflanke der Schachanlage Asse II (hydrologische Jahre 2010 und 2011).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 225 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

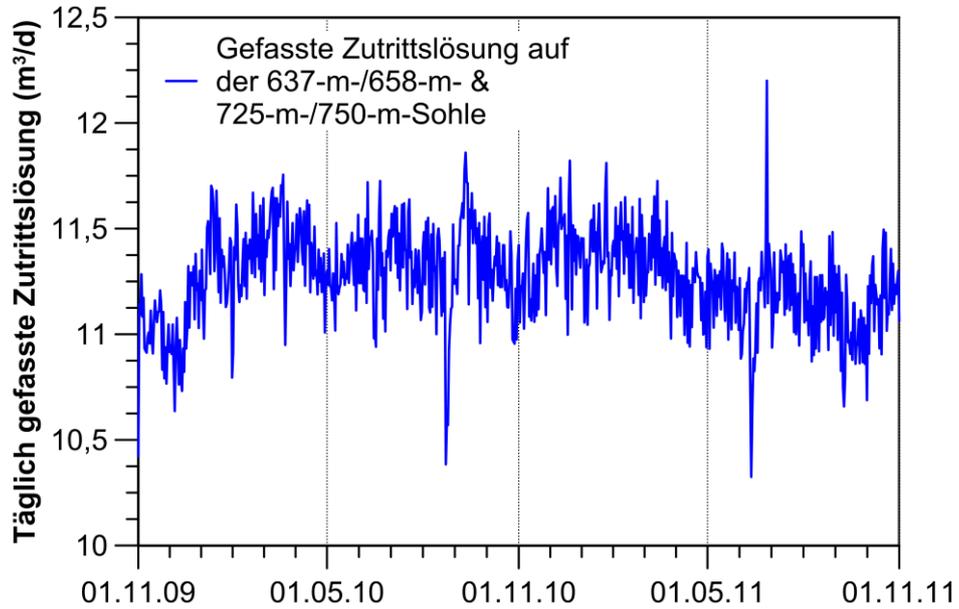


Abb. 5.19: Gesamtsumme der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 637-m- und 658-m-Sohle sowie der 725-m- und 750-m-Sohle in der Südflanke der Schachtanlage Asse II (hydrologische Jahre 2010 und 2011).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 226 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

6 GRUNDWASSERNEUBILDUNG

Die GW-Neubildungsrate wird zur Aufstellung einer Wasserhaushaltsbilanz benötigt. Weiterhin ist sie ein wichtiger Parameter zur Verifizierung der Tiefensickerung bei der numerischen Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge der Asse-Struktur [AF-Colenco 2009].

Zur Erfassung der GW-Neubildungsrate kommen direkte Methoden zur differenzierten Erfassung des Einsickerungsprozesses (z.B. Lysimeter) und indirekte Methoden, welche die Speicheränderungen im GW-Leiter möglichst genau erfassen (z.B. Trockenwetterabflussmessungen, Ganglinienmethode, Bodenwasserhaushaltsmodelle) zum Tragen. Bei der Anwendung von indirekten Verfahren wird u.a. vom [Arbeitskreis Grundwasserneubildung der FH-DGG 1977] empfohlen, die GW-Neubildung an einem Standort vergleichend mit indirekten Verfahren mit jeweils unterschiedlichen Eingangsgrößen zu bestimmen, um belastbare Werte zu erhalten.

Da am Standort der Asse die GW-Neubildungsrate nicht direkt mit vertretbarem Aufwand flächendifferenziert bestimmt werden kann, besteht nur die Möglichkeit sie integral über indirekte Methoden zu ermitteln. Zu den am Standort Asse angewendeten indirekten Verfahren gehören die einleitend in Kap. 2.2.3 beschriebenen Trockenwetterabflussmessungen an Quellen aus denen sich die GW-Neubildungsraten für definierte Einzugsgebiete ableiten lassen [GSF 1994; Stein 1999; GSF 2000]. Weiterhin liegen für den Standort Asse flächendifferenzierte Daten (50 m x 50 m Raster) zur GW-Neubildungsrate auf Basis des in Niedersachsen verbreiteten Bodenwasserhaushaltsmodells GROWA (Abkürzung für „Großräumiger Wasserhaushalt“; [Kunkel & Wendland 2002]) vor.

Daten der ebenfalls in Niedersachsen verwendeten Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der GW-Neubildungsrate nach [Dörhöfer & Josopait 1980] liegen für den Standort Asse nicht vor. Die Methode nach [Dörhöfer & Josopait 1980] wurde entwickelt um für den Maßstab 1:200.000 eine angemessene Genauigkeit zu erreichen und wäre somit allenfalls bedingt geeignet zur Charakterisierung der GW-Neubildung für den Asse-Höhenzug.

Die Ganglinienmethode nach [Healy & Cook 2002] basiert auf der Annahme, dass der Grundwasserspiegel mit nur kurzer Verzögerung auf Niederschlagseinflüsse reagiert bzw. dass die resultierende Änderung des Grundwasserspiegels überwiegend durch die GW-Neubildung verursacht wird. Bei dieser Methode ist die GW-Neubildungsrate das Produkt aus Speicherkoeffizient und Änderung der Grundwasserspiegelhöhe pro Zeiteinheit. Insgesamt ist diese Methode nur für geringe Flurabstände und ungespannte GW-Leiter anzuwenden, zudem liegen für den Standort Asse keine Daten für die Speicherkoeffizient der jeweiligen Gesteinsformationen vor¹. Von daher wird von der Anwendung dieser Methode Abstand genommen.

Die i.W. auf Trockenwetterabflussmessungen basierenden Studien zur Ermittlung der GW-Neubildung der von vier Einzugsgebieten, die einen Großteil des Asse-Höhenzuges abdecken [GSF 1994; Stein 1999; GSF 2000] wurden bereits in Kap. 2.2.3 dargestellt. Mittels dieser Methode ergeben sich für die betrachteten Zeiträume und Einzugsgebiete Bandbreiten für die GW-

¹ „Speicherkoeffizienten konnten aufgrund der Versuchsdurchführung nicht ermittelt werden“ [GeoUm 2003, S. 39].



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 227 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Neubildungsrate von 30 mm/a bis 213 mm/a nach [GSF 1994], von 78 mm/a bis 98 mm/a nach [Stein 1999] und 104 mm/a bis 146 mm/a nach [GSF 2000]. Dabei ist hervorzuheben, dass diese GW-Neubildungsraten nicht durch Auswertung langjähriger Zeitreihen, sondern vorwiegend auf dem Trockenwetterabfluss weniger hydrologischer Jahre (1983/84, 1987/88, 1994) beruhen, die zudem sehr unterschiedliche hydrologische Verhältnisse repräsentieren (z.B. 1983, 1984, 1989: Jahre mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen; 1987, 1988, 1994; Jahre mit überdurchschnittlichen Niederschlägen).

Aufgrund des Rückbaus zahlreicher Durchfluss- bzw. Schüttungsmessstellen entlang der Vorfluter und an Quellen in den 1990er-Jahren liegen für den Untersuchungszeitraum dieses Berichtes (2002 bis 2011) keine kontinuierlichen Abflussdaten der Vorfluter oder Quellen über längere Zeiträume vor, die sich im Hinblick auf die GW-Neubildungsrate auf Basis des Trockenwetterabflusses auswerten lassen. Somit wird im Folgenden ein Fokus auf die detaillierte Beschreibung des GROWA-Modells gelegt. Im Anschluss an die Erläuterung der GROWA-Modellgrundlagen in Kap. 6.1 werden die sich auf Basis von GROWA ergebenden GW-Neubildungsraten dargestellt (Kap. 6.2) und abschließend mit den aus anderen Methoden ermittelten Werten für die GW-Neubildungsraten verglichen (Kap. 6.3).

6.1 METHODIK UND DATENGRUNDLAGE

Das GROWA-Modell dient zur Bestimmung der regionalen GW-Neubildung [Kunkel & Wendland 2002]. Das für große Einzugsgebiete ausgelegte Modell basiert auf einer flächendifferenzierten Ermittlung des Bodenwasserhaushalts und der anschließenden Abtrennung der Direktabflussanteile und berechnet daraus absolute GW-Neubildungsraten. Mit Hilfe dieses Modells konnten u.a. mittlere GW-Neubildungsraten für den deutschen Teil des Elbeeinzugsgebietes flächendifferenziert bestimmt werden. Da das Modell GROWA gute Ergebnisse zeigte, wurde es auch in Niedersachsen in angepasster Form als GROWA98 [Dörhöfer et al. 2001] angewendet. Das GROWA-Modell wurde vom LBEG Hannover übernommen und mit eigenen Daten bis zur – hier verwendeten – Version GROWA06 (Version 2) weiterentwickelt.

Das GIS-gestützte Modell GROWA06v2 arbeitet mit einer flächendifferenzierten Datengrundlage und bezieht die folgenden Faktoren in die Berechnung der GW-Neubildungsrate ein:

- Niederschlagsdaten (mm/a) der Zeitreihe 1961 bis 1990 (regionalisiert, 50 m x 50 m Raster).
- Reale Evapotranspiration (V_{real} in mm/a) berechnet nach [DVWK 1996] auf Basis von Daten der Zeitreihe 1961 bis 1990. In diese Berechnung gehen die folgenden Daten ein:
 - Hangneigung und Exposition (mittels eines Korrekturfaktors f_h für geneigte Flächen)
 - Summe der Sommer- (01.04. – 30.09.) bzw. Winterniederschläge (01.10. – 31.03.)
 - Flächenversiegelungsgrad aus ATKIS-Daten [LGN 2003]
 - Pflanzenverfügbare Bodenwassermenge [LBEG 2008]
 - Jahressumme der potenziellen Evapotranspiration berechnet nach [Wendling 1995]
 - Grundwasserflurabstand
 - Landnutzungsspezifische Regressionskoeffizienten für Ackerland, Grünland, Wald



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 228 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- Alle Waldflächen werden als Nadelwald angesehen. D.h. der sehr variable Waldbestand des Asse-Höhenzuges mit seinem sehr hohen Laubwaldanteil (vgl. [GSF 1994]) wird im GROWA06v2-Modell pauschal als Nadelwald berücksichtigt.
- Für die an der Asse überwiegenden Festgesteinseinheiten werden die hydrogeologischen Einheiten entsprechend der Bodenübersichtskarte BÜK50 [LBEG 2008] anhand des Ausgangsgesteins klassifiziert und es wird ein dimensionsloser r_B -Wert zugeordnet, der das Verhältnis Grundwasserabfluss/Gesamtabfluss wiedergibt (Beispielhafte r_B -Werte für das Asse-Deckgebirge: Tonstein des Oberen Buntsandstein so : 0,05; Sand-Siltsteine des Unteren Buntsandstein su : 0,4; Kalkstein-Mergelstein des Oberen Muschelkalk mo : 0,35; Kalksteine des Unteren Muschelkalk mu : 0,7). Potenziell drainierende Elemente (z.B. Störungszonen), die eine (lokal) erhöhte Zusickerung begünstigen können werden im GROWA06v2-Modell nicht berücksichtigt. Die lokal vorhandene und z.T. mehrere Meter bis zu 30 m (z.B. Tal der Ammerbeek) mächtigen tertiären und quartären Deckschichten [Weinberg 1997] werden im GROWA06v2-Modell ebenfalls nicht explizit berücksichtigt.
- Für versiegelte Flächen (z.B. in den Ortschaften Remlingen, Wittmar und den Bereich der Schachanlage Asse II) wird der dimensionslose r_B -Wert aufgrund des Versiegelungsgrades bestimmt. Analog werden für drainierte Flächen über einen r_B -Wert berücksichtigt.

Wenn alle Eingangsdaten sowie der r_B -Wert vorliegen, so errechnet das Modell GROWA06v2 die GW-Neubildungsrate nach folgender Gleichung:

$$\text{GW-Neubildungsrate} = (N - V_{\text{real}}) \cdot r_B \quad (6.1)$$

mit N Niederschlagsmenge (mm/a)
 V_{real} Reale Verdunstung (mm/a)
 r_B Verhältnis Grundwasserabfluss/Gesamtabfluss (–)

Die räumliche Auflösung der Eingangsdaten des GROWA06v2-Modells erlaubt eine Darstellung der GW-Neubildungsrate regionalisiert im Maßstab 1:50 000 mittels eines 50 m x 50 m Rasters.

Der in [Lemke & Elbracht 2008] durchgeführte Vergleich des GROWA06v2-Modells mit Pegeldaten für drei Festgesteins-Einzugsgebiete (71 km² bis 237 km²) und neun Lockergesteins-Einzugsgebiete (171 km² bis 1274 km²) in Niedersachsen ergab für die Differenzen der berechneten und der aus langjährigen Abflussmessungen abgeleiteten mittleren GW-Neubildungsraten der betrachteten Einzugsgebiete einen Mittelwert für Festgestein von 61,32 mm/a (Standardabweichung: 55,76) sowie Lockergestein von Lockergestein: 24,94 mm/a (Standardabweichung: 17,53).

Daraus folgt, dass die auf Basis des GROWA06v2-Modells berechneten GW-Neubildungsraten – insbesondere für Festgesteins-Einzugsgebiete – Abweichungen im zweistelligen Prozentbereich von den mittels Abflussmessungen erhobenen Werten aufweisen können. Aufgrund dieser Ergebnisse empfehlen [Lemke & Elbracht 2008] für das GROWA06v2-Modell eine Aufteilung der GW-Neubildungsraten in Stufen von mindestens 25 mm/a. Alternativ schlagen sie eine Ausweisung der mittleren GW-Neubildungsrate in einem kleineren Maßstab vor, um kleinräumige Detailprobleme zu vermeiden [Lemke & Elbracht 2008].



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 229 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

6.2 GRUNDWASSERNEUBILDUNG NACH GROWA06V2

Die mit GROWA06v2 berechnete GW-Neubildungsrate für den Asse-Höhenzug und die umliegenden Gebiete ist in Abb. 6.1 dargestellt. Hierbei wurde der Empfehlung von [Lemke & Elbracht 2008] gefolgt, die GW-Neubildungsrate in Stufen von 25 mm/a zusammen zu fassen.

Die in Abb. 6.1 dargestellten Raten der GW-Neubildung nach GROWA06v2 liegen im Gebiet des Asse-Höhenzuges weitestgehend deutlich unterhalb von 100 mm/a. Insbesondere im zentralen Bereich des Asse-Höhenzuges, der das Gebiet des nordöstlichen und des südwestlichen Längstales mitsamt der zentralen Rippe einschließt, sind die GW-Neubildungsraten überwiegend kleiner als 25 mm/a. Nur in wenigen Bereichen werden Raten von 25 mm/a bis 50 mm/a erreicht.

Deutlich höhere GW-Neubildungsraten zwischen 100 mm/a und 200 mm/a ergeben sich nach GROWA06v2 entlang eines ca. 300 m breiten Streifens der nordöstlichen und eines bis zu ca. 100 m breiten Streifen der südwestlichen Flanke des Asse-Höhenzuges die mit den Ausstrichbereichen des Muschelkalk zusammenfallen. Im Bereich um Schacht Asse 2 sowie im Muschelkalk östlich der Erhebung „Auf dem Klaare“ erreicht die GW-Neubildungsrate Werte von 200 mm/a, in unmittelbarer Umgebung des Schachtes Asse 2 sogar 250 mm/a.

Für die sich an die nordöstlichen und südwestlichen Flanken des Asse-Höhenzuges anschließenden Hanggebiete im Übergang zu den Kreidesynklinalen zeigt das GROWA06v2-Modell sehr geringe GW-Neubildungsraten von weniger als 25 mm/a.

Die beiden Kreidesynklinalen nordöstlich und südöstlich des Asse-Höhenzuges sind dann wiederum durch etwas höhere GW-Neubildungsraten von ca. 50 mm bis 150 mm pro Jahr charakterisiert. In diesem Gebiet treten höhere GW-Neubildungsraten von bis zu 200 mm bis 225 mm pro Jahr nur lokal im Gebiet der Ortschaften Groß Denkte, Wittmar und Remlingen auf.

Insgesamt spiegelt die Verteilung der GW-Neubildungsrate nach GROWA06v2 vorwiegend das Ausstreichen der (hydro-) geologischen Einheiten sowie – untergeordnet – das Relief wider. Dabei zeigen sich extreme Kontraste in den GW-Neubildungsraten für das Gebiet des Asse-Höhenzuges. Dieses Ergebnis ist nach der Betrachtung der Eingangsdaten für das GROWA06v2-Modell zu erwarten. Da der Asse-Höhenzug weitestgehend bewaldet ist (Waldtyp wird nicht unterschieden), ist die reale Verdunstung V_{real} für große Teilflächen nur abhängig vom Grundwasserflurabstand und von der Hangneigung/Exposition. Letztere Faktoren gehen nur mit einem sehr geringen Gewicht in die Gleichung zur Bestimmung der V_{real} ein (z.B. weist der f_H nur Werte zwischen 0,9 und 1,15 auf). Somit kommt bei der Berechnung der GW-Neubildung für den überwiegenden Teil des Asse-Höhenzuges dem aus der anstehenden Festgesteins-Schichtenfolge abgeleiteten Abflussfaktor r_B eine große Bedeutung zu, denn er geht direkt in die Gleichung (6.1) ein. D.h. die Ausprägung der anstehenden geologischen Schichten ist primär verantwortlich für Berechnung der GW-Neubildungsraten aus dem Anteil des Oberflächenabflusses am Gesamtabfluss im Modell GROWA06v2.

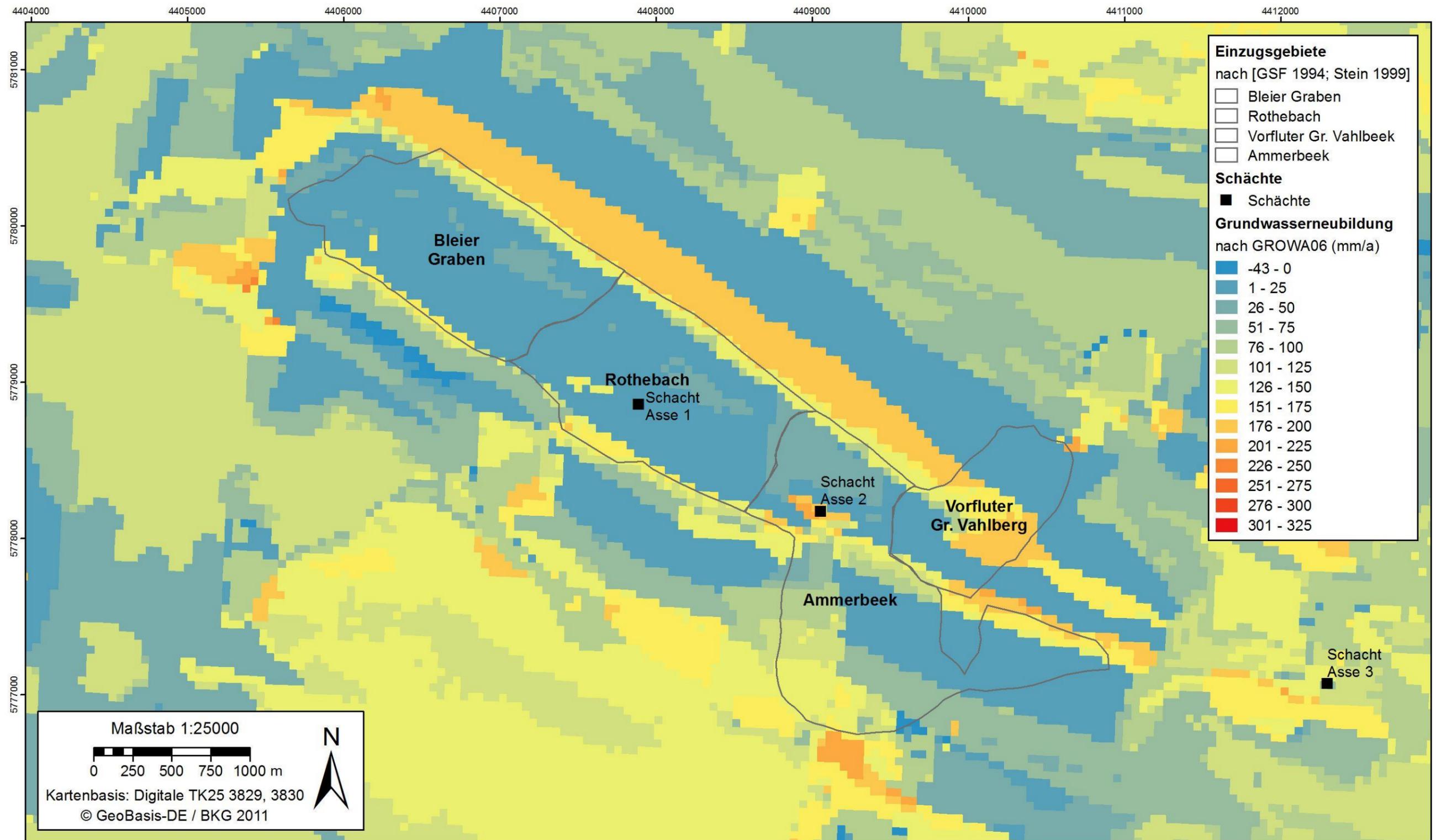


Abb. 6.1: Grundwasserneubildungsraten nach dem GROWA06v2-Modell für den Asse-Höhenzug. Die Schächte Asse 1 und 2 sind zur Orientierung eingezeichnet.



Bundesamt für Strahlenschutz

Schachtanlage Asse II Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 231 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

6.3 VERGLEICHENDE BETRACHTUNG DER GRUNDWASSERNEUBILDUNG

Die Berechnung der gemittelten GW-Neubildung am Standort Asse für ausgewählte Gebiete mit dem GROWA06v2-Modell erlaubt es, einen Vergleich mit der mittels anderer Verfahren (vgl. Kap. 2.2.3) bestimmten GW-Neubildungsrate durchzuführen. Dazu wird zum einen die für den Asse-Höhenzug im Bereich der Ausstrichflächen der triassischen Festgesteine großräumig gemittelte GW-Neubildungsrate mittels ARCGIS nach GROWA06v2 berechnet. Die Auswertung der GROWA06v2-Daten für dieses Gebiet, das eine Fläche von ca. 21,5 km² umfasst (Abb. 6.1), ergibt eine gemittelte GW-Neubildungsrate von ca. 70 mm/a.

Zum anderen werden nach den Darstellungen in [GSF 1994] und [Stein 1999] die Umriss der zugrunde liegenden vier Einzugsgebiete (i) des Rothebachs bis zur Messstelle M25, (ii) des Vorfluters oberhalb von Groß Vahlberg bis zur Messstelle M35 (ohne Hasselbeek), (iii) des Bleier Grabens (Denkter Graben) bis Messstelle M0 und (iv) der Ammerbeek bis zur Messstelle M89 in ARCMAP digitalisiert und mit den GW-Neubildungsdaten des GROWA06v2-Modells verschnitten. Über die jeweiligen Flächenanteile der Gebiete kann dann für jedes der betrachteten Einzugsgebiete die gemittelte GW-Neubildungsrate nach GROWA06v2 angegeben werden. Die aus dieser Berechnung resultierenden Werte für die GW-Neubildungsrate sind in Tab. 6.1 zusammenfassend dargestellt und den Resultaten in [GSF 1994] und in [Stein 1999] gegenübergestellt.

Tab. 6.1: Vergleich der GW-Neubildungsdaten („GWN“) nach Angaben in [GSF 1994] und [Stein 1999] mit Werten die für das jeweilige Einzugsgebiet mit dem GROWA06v2-Modell ermittelt wurden.

Einzugsgebiet	Einheit	Rothebach	Vorfluter bei Groß Vahlberg	Bleier Graben	Ammerbeek
Messstelle		M25	M35	M0	M89
Größe EZG	(km ²)	1,55	0,76	1,56	2,09
GWN nach [GSF 1994] ⁽¹⁾	(mm/a)	139	42	150	213
GWN nach [Stein 1999] ⁽¹⁾	(mm/a)	87	98	78	84
GWN nach GROWA06v2	(mm/a)	34	70	32	63

⁽¹⁾ Mittelwert der hydrologischen Jahre 1984, 1986, 1988 (M25,M35), 1988 (M89) sowie 1984, 1988 (M0).

Die beiden überwiegend den zentralen und südwestlichen Teil des Asse-Höhenzugs umfassenden Einzugsgebiete des Rothebachs und des Bleier Grabens weisen nach GROWA06v2 sehr niedrige GW-Neubildungsdaten im Bereich von 34 mm/a bzw. 32 mm/a auf (Tab. 6.1). Dabei dominiert in den beiden Einzugsgebieten lithologisch der Buntsandstein (i.W. Unterer Buntsandstein) sowie der residuale Zechstein, während die Ausstrichflächen des Muschelkalk anteilmäßig gering sind [Frank 1974]. Weiterhin ist in diesen Einzugsgebieten der Waldanteil sehr hoch.



Bundesamt für Strahlenschutz

Schachtanlage Asse II Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 232 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die beiden südwestlich bzw. nordöstlich der Schachtanlage Asse II gelegenen Einzugsgebiete der Ammerbeek und des Vorfluters bei Groß Vahlberg weisen nach GROWA06v2 eine GW-Neubildungsrate von 63 mm/a bzw. 70 mm/a auf (Tab. 6.1). Sie besitzen vergleichsweise höhere Flächenanteile des Muschelkalk [Frank 1974] und eine geringere Waldfläche als die vorgenannten Einzugsgebiete des Rothebach und des Bleier Graben.

Die von [GSF 1994] ermittelten GW-Neubildungsraten für die vier Einzugsgebiete sind im Vergleich zu den GROWA06v2-Ergebnissen zum Teil bis zu einem Faktor 3 bis 5 höher (M25, M0, M89), nur für das Einzugsgebiet des Vorfluters bei Groß Vahlberg (an M35 erfasst) ergibt sich ein geringerer Faktor zwischen 0,4 und 0,7. Im Vergleich zu diesen Werten liegen die mittels sechs verschiedener Verfahren von [Stein 1999] bestimmten GW-Neubildungsraten gesamthaft um einen Faktor von 1,4 bis 2,6 über den GROWA-Ergebnissen.

Insgesamt liegen die mittels dem GROWA06v2-Modell für den gesamten Asse-Höhenzug sowie für vier spezifische Einzugsgebiete bestimmten GW-Neubildungsraten überwiegend deutlich unter den mittels anderer indirekter Methoden ermittelten Raten. Diese Unterschiede können möglicherweise durch besondere hydrogeologische Faktoren am Standort Asse bedingt sein, die durch das GROWA06v2-Modell nicht berücksichtigt werden. Dazu gehört insbesondere die überwiegend steil einfallende Schichtenfolge des Asse-Deckgebirges, die zudem lokal oberflächennah verkarstet ist und tektonisch im Rahmen der Bildung der Asse-Struktur (d.h. extensional) beansprucht wurde. Diese Charakteristik fördert eine erhöhte GW-Infiltrationsrate im Vergleich zu Standorten mit flach gelagerten Schichtfolgen. Weiterhin können auch die Quer- und Diagonalstörungen ebenfalls eine erhöhte Infiltrationsrate begünstigen.

Darüber hinaus kann auch die Berücksichtigung von Waldgebieten im GROWA06v2-Modell im Hinblick auf die Ursachen für die genannten Unterschiede eine Rolle spielen. Im GROWA06v2-Modell wird Wald generell als Nadelwald berücksichtigt. Der am Standort Asse jedoch dominierende Laubwald weist gegenüber Nadelwald einen deutlich geringeren Interzeptionsverlust auf, wodurch potentiell ein höherer Anteil des Niederschlags den Waldboden erreicht und für die GW-Neubildung zur Verfügung steht. Weitere Unterschiede zwischen Laub- und Nadelwald bestehen in der im Jahresverlauf deutlich unterschiedlich ausgeprägten Transpiration. Die potentiellen Auswirkungen dieses Unterschieds auf die Berechnung der GW-Neubildungsrate mit GROWA06v2 für den Asse-Höhenzug lassen sich jedoch im Rahmen dieses Berichtes nicht abschätzen.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Schachtanlage Asse II Sachstandsbericht Hydrogeologie			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 233 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

7 GRUNDWASSEROBERFLÄCHE

Die aus den Messungen des Grundwasserdrucks bzw. der Standrohrspiegelhöhe im oberflächennahen Bereich, der Höhenlage von Quellen und der Anbindung an oberflächlichen Wasserläufen konstruierte Grundwasseroberfläche ist ein wichtiger Baustein für das konzeptionelle hydrogeologische Modell des Asse-Deckgebirges. Die GW-Oberfläche dient zudem als Festpotential-Modelloberfläche bei der numerischen Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge (vgl. [AF-Colenco 2009]).

Im folgenden Kapitel 7.1 wird der Grundwassergleichenplan von [Colenco 2006] ausführlich dargestellt, der i.W. auf Stichtagsmessungen der Jahre 1986 und 1989 beruht. Um mögliche Veränderungen der Grundwasseroberfläche zu zeigen, werden die dem GW-Gleichenplan in [Colenco 2006] zugrunde liegenden Daten mit Wasserspiegelmessungen des Jahres 2011 in den GWM verglichen. Anschließend werden Veränderungen der Wasserspiegelhöhe, die sich aus der Revision der M-Messstellen (Quellen und Vorfluter) gegenüber früheren Daten in [GSF 1994] und [Colenco 2006] ergeben haben, dargestellt.

7.1 METHODIK UND DATENGRUNDLAGE

Der GW-Gleichenplan in [Colenco 2006] wurde u.a. anhand der Abstichmessungen am 21.08.1986 und am 24.10.1989 (Tab. 7.1) in den zur Zeit der Berichtserstellung verfügbaren Messstellen des Asse-Höhenzuges (H- und P-Messstellen) sowie mittels der Höhenlage von Brunnen, Quellaustritten und Vorflutern erstellt. Dabei wurde den strukturellen Gegebenheiten des Asse-Deckgebirges Rechnung getragen. Die Ausarbeitung des GW-Gleichplans umfasste folgende Schritte:

- Kritische Überprüfung und Bereinigung der vorhandenen Daten unter klarer Separierung zwischen Daten zur Grundwasseroberfläche und Tiefenpotentialen.
- Abschätzung des Einflusses der in der Regel großen Länge der Messintervalle und der Grundwasserdichte.
- Zusammenstellung aller für die GW-Oberfläche verfügbaren Messwerte (wahrscheinlicher Wert bzw. Bandbreite).
- Kartographische Darstellung dieser Werte unter Angabe der hydrogeologischen Einheit.
- Isoliniendarstellung der GW-Oberfläche in jenen Teilgebieten, in denen genügend Messpunkte vorliegen, unter Berücksichtigung der Morphologie und des hydrogeologischen Aufbaus der Asse.

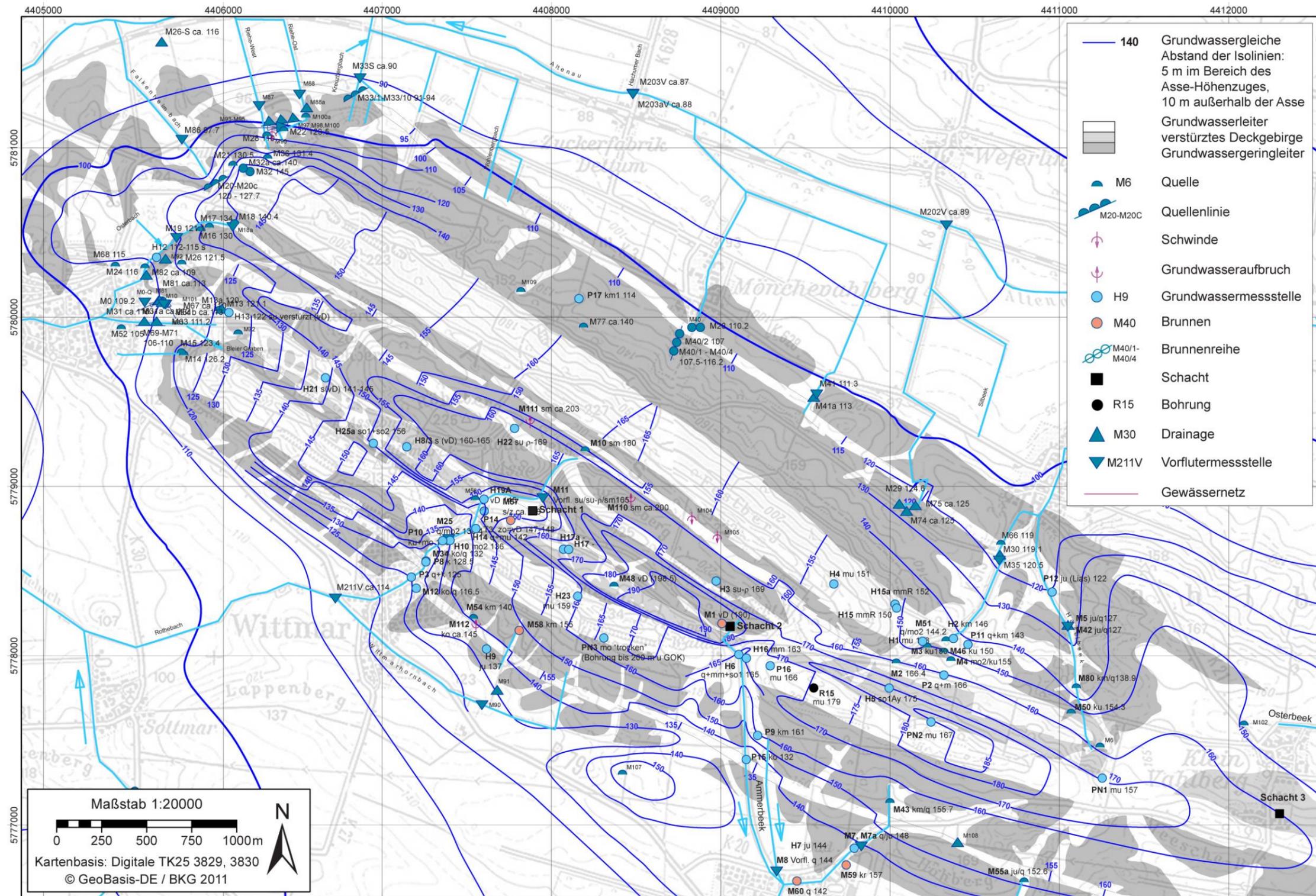


Abb. 7.1: Grundwassergleichenkarte nach [Colenco 2006] ergänzt um die Grundwasserspiegelhöhen in den PN-Bohrungen (Flachpegel) und Erkundungsbohrung R15 (Ruhewasserspiegel im *mu*).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 235 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

7.2 GRUNDWASSERGLEICHENPLAN NACH [COLENCO 2006]

In dem in Abb. 7.1 gezeigten GW-Gleichenplan nach [Colenco 2006] fällt die GW-Oberfläche insgesamt steil nach Nordosten zur Schöppenstedter Mulde, und gegen Südwesten zur Remlinger Mulde und sanfter nach Nordwesten zum Strukturschluss von Groß Denkte, gegen Südosten zum Uhrder Abschnitt ab. Des Weiteren geht die Interpolation der GW-Oberfläche von der Hypothese aus, dass sich in den GW-Leitern unter Annahme der lateralen Kontinuität derselben (d.h. keine Zerblockung der an der Asse vorherrschenden Kluftgrundwasserleiter) flache Gradienten ausbilden. Dagegen bilden sich in den, überwiegend in Richtung der GW-Leiter entwässernden GW-Geringleitern, deutlich steilere Gradienten aus.

Tab. 7.1: Wasserspiegelhöhen der Stichtagsmessungen 1986 und 1989 sowie für den Grundwassergleichenplan in [Colenco 2006] verwendeter Wasserspiegelhöhe im Vergleich zu den Wasserspiegelhöhen am 01.09.2011 in den GWM.

GWM	Abstichhöhe Stichtags- messung 21.08.86	Abstichhöhe Stichtags- messung 24.10.89	Wert [Colenco 2006]	Standrohrspiegel- höhe 01.09.11	Bandbreite der saisonalen Schwankungen der Jahre 2002 bis 2010 (Tab. 4.4)
	(mNN)	(mNN)	(mNN)	(mNN)	(m)
H1	148,37	148,18	148	148,35	ca. 0,5 – 2
H3	170,00	168,66	169	169,16	ca. 0,5 – 2,5
H5	176,11	175,70	178 – 184	175,56 ⁽¹⁾	ca. 0,5 – 3
H6	167,91	165,33	165	169,34	ca. 0,5 – 6
H7	147,20	144,10	144	144,96	ca. 0,5
H9	136,50	136,96	137	136,58	ca. 1 – 2
H14	142,54	141,78	142	143,56	ca. 0,5 – 3,5
H16	163,70	163,19	163	165,49	ca. 1 – 10
H23	162,34	159,08	159	160,7	ca. 0,5 – 2,5
P9	161,24	160,80	161	160,93	ca. 1,5 – 2
P15	127,82	131,69	132	130,96	–
P16	172,33	165,90	166	172,21	ca. 2 – 10
P17	120,52	113,89	114	115,11	ca. 2,5 ⁽²⁾
PN1-FP	–	–	–	156,56	ca. 0,7 ⁽²⁾
PN2-FP	–	–	–	166,73	ca. 2 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Aufgrund einer Datenlücke wurde hier der Wert des Diver-Druckaufnehmers verwendet.

⁽²⁾ Für diese GWM standen nur GW-Ganglinien der Jahre 2010 bis 2011 zur Verfügung.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 236 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die im GW-Gleichenplan des Asse-Höhenzuges zum Ausdruck kommenden Potentialverhältnisse bewirken einen Wasserfluss von der zentralen Hochzone in Richtung der tiefer gelegenen Exfiltrationszonen:

- Dominierende Längsflüsse in allen GW-Leitern sowie Quellaustritte in Groß Denkte und in den Quertälern (Rothebach, Ammerbeek, Hasselbeek, Talung südlich Groß Vahlberg).
- Geringe GW-Flüsse quer zur Struktur, i.W. bedingt durch die Leckage durch die GW-Geringleiter sowie durch die GW-Flüsse entlang der Quer- und Diagonalstörungen in Richtung Remlinger bzw. Schöppenstedter Mulde.

7.3 GRUNDWASSEROBERFLÄCHE NACH DATEN 2011

Nach den beiden Stichtagsmessungen in den Jahren 1986 und 1989 wurde in den Folgejahren keine weitere Stichtagsmessung im Gebiet des Asse-Höhenzuges durchgeführt. Zudem ist ein großer Teil der damals bei der Stichtagsmessung verwendeten GWM in den 1990er-Jahren zurückgebaut worden. Somit ist die Datenbasis in Bezug auf die Anzahl der für die Konstruktion der GW-Gleichen nutzbaren GWM gegenüber der Datenbasis für den GW-Gleichenplan in [Colenco 2006] insbesondere für die westlich und südwestlich von Schacht Asse 1 sowie den nordöstlich von Schacht Asse 2 gelegenen Teile des Asse-Höhenzuges reduziert.

Zur Ermittlung der GW-Gleichen im Asse-Deckgebirge stehen im aktuellen hydrogeologischen Messnetz nur noch die GWM H1, H3, H5, H6, H7, H9, H14, H23, H24b, P9, P13, P15, P16 und P17 sowie die neu errichteten GWM PN1 und PN2 (jeweils Flachpegel) zur Verfügung. Für jede dieser Messstellen kann auf die in Kap. 4 dargestellten monatlichen Abstichmessungen bzw. Standrohrspiegelhöhen auf Basis der Seba- und Diver-Druckaufnehmer zurückgegriffen werden. Dabei ist zu beachten, dass der Grundwasserspiegel der GWM H24b im GW-Gleichenplan nicht verwendet wurde, da die Filterstrecke nach [Colenco 2005] möglicherweise eine Verbindung zu den Subrosionsgerinnen am Salzspiegel aufweist. Weiterhin ist der Grundwasserspiegel der GWM P13 nicht im GW-Gleichenplan berücksichtigt worden, da dieser als nicht typisch für den Muschelkalk südlich der Schachanlage Asse II angesehen wird, und möglicherweise auf die Zerblickung des Muschelkalk zurückgeführt werden kann [Colenco 2005].

Die qualitative und die statistische Auswertung der Ganglinien der noch zur Verfügung stehenden, und als Datengrundlage für den GW-Gleichenplan verwendeten GWM in Kap. 4.2 und 4.5 zeigt keine langfristigen Trends der Wasserspiegelhöhe, die im Vergleich mit der Auflösung des GW-Gleichenplans in [Colenco 2006] von Bedeutung wäre. Dieses Ergebnis wird durch den Vergleich des für den GW-Gleichenplan in [Colenco 2006] verwendeten Wertes der Wasserspiegelhöhe mit aktuellen Werten aus dem Jahr 2011 gestützt (Tab. 7.1). Dabei wurde als Vergleichszeitpunkt die jeweilige Wasserspiegelhöhe am 01.09.2011 als repräsentativ für einen gleichbleibend relativ niedrigen Grundwasserstand in einem Jahr mit leicht unterdurchschnittlichen Niederschlägen angesehen, der in etwa den Verhältnissen im August 1986 und Oktober 1989 entspricht.

Der in Tab. 7.1 dargestellte Vergleich der Standrohrspiegelhöhe von Anfang September 2011 mit den Werten, die der GW-Gleichenkarte in [Colenco 2006] zugrunde liegen, zeigt für die meisten



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 237 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Messstellen (H1, H3, H7, H9, P9, P15, P17) eine gute Übereinstimmung mit geringen Abweichungen in der Größenordnung von bis zu etwa ± 1 m. Die größeren Abweichungen bei der GWM H6 (+4,3 m), H16 (ca. +2,5 m), H23 (+1,7 m) und P16 (+6,2 m) liegen insgesamt im Bereich der jeweiligen saisonalen Schwankungen.

Neue Stützstellen ergeben sich mit den Wasserspiegeln der Flachpegel der 2008 bzw. 2009 errichteten GWM PN1 und PN2 die im Bereich der Klein Vahlberger Buchen im Vergleich zum bestehenden GW-Gleichenplan im Mittleren Muschelkalk *mm* bzw. Unteren Muschelkalk *mu* zu einer lokal 18 m (PN1) bzw. 13 m (PN2) tiefer liegenden GW-Oberfläche führen. In der GWM PN3, die 2008 bis zu einer Tiefe von 185 m unter GOK im Oberen Muschelkalk *mo* westlich von Schacht Asse 2 abgeteuft wurde, hatte sich aufgrund von sehr geringen Wasserzuflüssen kein Ruhewasserspiegel eingestellt und die Bohrung wurde verfüllt. Der sich beim Abteufen der Erkundungsbohrung R15 (Koordinaten: ⁴⁴09528, ⁵⁷77865,2; Messpunkthöhe 215,6 mNN) durch den Unteren Muschelkalk *mu* bis in eine Tiefe von 130 m am 27.06.2013 einstellende Ruhewasserspiegel von ca. 179 mNN resultiert in einem um 9 m höheren Grundwasserspiegel östlich der Schachanlage Asse II im Vergleich zu der Grundwasseroberfläche in [Colenco 2006].

Für die M-Messstellen (Quellen, Brunnen und Vorfluter), deren Position und Höhenlage ebenfalls eine wichtige Grundlage für die Konstruktion des GW-Gleichenplans darstellt, ergeben sich nach den Untersuchungen von [Seidel 2011a]¹, aus den z.T. um wenige Meter verschobenen revidierten Positionen der Messstellen keine Lageveränderungen, die die GW-Gleichen wesentlich verändern würden. Weiterhin wurde kein Trockenfallen derjenigen M-Messstellen beobachtet, die in [Colenco 2006] zur Konstruktion der GW-Gleichen verwendet wurde.

Für die Höhenlage der M-Messstellen ergibt sich aufgrund der revidierten Werte in [Seidel 2011a] und dem Abgleich mit den Höhenpunkten und Isolinien der topographischen Karte (vgl. Kap. 10.1 sowie Tabellen A.4 und A.5 im Anhang) für die folgenden drei Messstellen eine möglicherweise veränderte Höhenlage:

- Quelle M2: Neue Höhenlage 176 mNN, d.h. ca. 10 m höher gelegen als in [Colenco 2006].
- Quelle M14: Neue Höhenlage 136 mNN, d.h. ca. 10 m höher gelegen als in [Colenco 2006].
- Brunnen M57: Neue Höhenlage 165 mNN, d.h. ca. 7 m höher als in [Colenco 2006].

Dementsprechend würde sich im Bereich der Quelle M2, d.h. nordwestlich der Klein-Vahlberger Buchen (im Quertal Groß Vahlberg), im Gebiet um Quelle M14 östlich von Groß Denkte sowie um Brunnen M57 im oberen Tal von Wittmar der Verlauf der GW-Gleichen potenziell ändern. Zu beachten ist auch, dass sich die Position dieser drei Messstellen möglicherweise ebenfalls gegenüber früheren Untersuchungen [GSF 1994] verändert hat (z.B. um mehr als 100 m im Fall des Brunnens M57).

¹ Bis auf die verschobenen Koordinaten der Messstellen M19a, M26S und M315 die möglicherweise Übertragungsfehler in der Tabelle von [Seidel 2011a] darstellen (vgl. Kap. 10.1).

 Bundesamt für Strahlenschutz				Sachstandsbericht Hydrogeologie			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 238 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

8 GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT

Im vorliegenden Kapitel wird die hydrochemische Zusammensetzung der Grundwässer im Asse-Deckgebirge im Hinblick auf die folgenden Aufgaben und Fragestellungen dargestellt und interpretiert:

- Zusammenfassende Darstellung der Analysen der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011,
- Plausibilitätsprüfung der Analysendatensätze und Detektion von Einflüssen durch die Probenahme und -lagerung, den Eintrag von anthropogenen Stoffen (z.B. Dünger, Reste von Bohrspülung) und Oberflächenwasser sowie den Messstellenausbau,
- Hydrochemische Klassifizierung der Analysendatensätze unter Berücksichtigung der erschlossenen Formationen und der Position der Messstelle im Wasserkreislauf,
- Darstellung von zeitlichen Variationen der GW-Beschaffenheit (unter Einbeziehung der hydrochemischen Daten aus den Jahren vor 2002), die Änderungen der Fließsysteme anzeigen können
- Ableitung von geogen-salinaren Einflüssen, insbesondere von Hinweisen auf Subrosionsprozesse und Wegsamkeiten im Deckgebirge (dies ist insbesondere im Hinblick auf die potentielle Herkunft und Fließwege von Grubenlösungen wichtig), und
- weiterhin stellt der Wasserchemismus einen Parametersatz dar, der bei Ausbreitungs- und Transportrechnungen von potentiell ausgepressten Grubenlösungen zu berücksichtigen ist.

Um dieser Zielsetzung gerecht zu werden, wurden die in den Jahren 2002 bis 2011 bestimmten physikalisch-chemischen Parameter, Hauptinhaltsstoffe, Begleitstoffe, Spurenstoffe und ausgewählte Isotopengehalte bzw. -verhältnisse der Grundwässer ausgewertet.

Die physikalisch-chemischen Parameter wie z.B. Wassertemperatur, pH-Wert, spezifische elektrische Leitfähigkeit, Redoxpotential und Sauerstoffgehalt können vor Ort, aber z.T. auch im Labor bestimmt werden und liefern wichtige Hinweise zum hydrochemischen Milieu im GW-Leiter und zur Mineralisierung des Grundwassers. Sie können aber auch Anhaltspunkte für die Zusickerung von Oberflächenwasser liefern (z.B. durch erhöhte Sauerstoffgehalte).

Die Konzentrationen der Hauptinhaltsstoffe (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^{2-} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}), die unabhängig vom Mineralisierungsgrad in der Regel nahezu den gesamten Lösungsinhalt im Grundwasser bilden, geben Auskunft über die Herkunft der Grundwässer und ihre Wechselwirkung mit den durchflossenen geologischen Schichten.

Die Begleitstoffe (v.a. $\text{Fe}^{2+/3+}$, Mn^{2+} , NO_3^-) können einerseits zur Charakterisierung des hydrochemischen Milieus herangezogen werden (v.a. in Verbindung mit den physikalischen Parametern). Andererseits können sie als Indikatorparameter für anthropogenen Eintrag (z.B. Düngung) dienen.

Die Konzentration an bestimmten Spurenstoffen (v.a. Halogenen, Alkali- und Erdalkalielelementen) kann in Grundwässern benutzt werden, um Wässer ähnlicher Hauptinhaltsstoffe hinsichtlich ihrer Genese zu unterscheiden. Insbesondere in den salinaren Grundwässern des Asse-Deckgebirges können anhand bestimmter Verhältnisse von Spuren- zu Hauptinhaltsstoffen (z.B. Cl/Br) Aussagen zur Herkunft der gelösten Wasserinhaltsstoffe gemacht werden, um z.B. Einflüsse der salinaren



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 239 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Schichten des Deckgebirges (Röt, Mittlerer Muschelkalk, Gipskeuper) ohne Kalisalze („Halitwässer“) von Ablaugungen des Zechsteinsalinars mit Beteiligung von Kalisalzen („Carnallitwässer“) zu differenzieren ([Fontes & Matray 1993], [Kloppmann et al. 2001]).

Um der räumlichen Variabilität der Wasserinhaltsstoffe im Deckgebirge der Asse gerecht zu werden, wird nach der Beschreibung der Methodik und Datengrundlage zur Bestimmung der GW-Beschaffenheit in Kap. 8.1, für jede für eine Beprobung zur Verfügung stehende Messstelle im hydrogeologischen Messnetz eine zusammenfassende Darstellung der relevanten physikalischen und chemischen Parameter (Hauptelemente, Begleitstoffe und Spurenstoffe) entsprechend ihrer jeweiligen hydrostratigraphischen Einheit in Kap. 8.2 gegeben. Dabei gehen auch die vor 2002 in den GSF-Jahresberichten und in [GSF 1994] kompilierten hydrochemischen Daten in die Darstellung ein. In dem darauffolgenden Kap. 8.3 werden die Ergebnisse der Messung der gelösten Gase in den Grundwässern dargestellt. Anschließend erfolgt in Kap. 8.4 eine Diskussion der Plausibilität und der Repräsentativität der Wasseranalysen und in Kap. 8.5 eine zusammenfassende Klassifizierung der jeweiligen Grundwassertypen. Abschließend werden anhand von charakteristischen Elementkonzentrationen bzw. -verhältnissen Rückschlüsse auf die potentielle Genese der Grundwässer gezogen (Kap. 8.6).

8.1 METHODIK UND DATENGRUNDLAGE

8.1.1 Probennahme

Die Beschreibung der Methodik bei den Grundwasserprobennahme-Kampagnen entstammt diversen GSF-Jahresberichten [GSF 2003; GSF 2004], den Methodenbeschreibungen in [Soler 2006] und schriftlichen Mitteilungen des [BfS 2011].

Die Grundwasserentnahme in den Messstellen des hydrogeologischen Messnetzes erfolgte in den Probennahmekampagnen der Jahre 2002 bis 2011 mittels der Schöpfapparatur GEOCOM 1/2/5. Diese Apparatur kann mit unterschiedlichen Probenbehältern ausgestattet werden (0,25 l, 1 l, 2 l und 5 l). Der Apparat verfügt über zwei Ventile: (i) ein elektrisch fernsteuerbares Einströmventil und (ii) ein manuelles Ventil für die Entleerung des Probenbehälters. Die Probenbehälter lassen sich vor den Probennahmen evakuieren oder auch mit Gasen füllen, wobei dies i.d.R. für die hier dargestellten Probennahmekampagnen nicht vorgenommen wurde. Der gefüllte und an die Oberfläche gebrachte Probenbehälter wird durch ein Gummiröhrchen direkt in die entsprechenden Laborflaschen entleert.

8.1.2 Vor-Ort-Parameter

Die jeweils bei der Probennahme vor Ort bestimmten physikalisch-chemischen Parameter umfassen den pH-Wert, das Redoxpotential (Eh-Wert), die elektrische Leitfähigkeit, die Dichte, sowie den Karbonatgehalt.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 240 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

pH-Messung

Zur pH-Messung wurde eine Standard-pH-Einstabmesskette (Gel-Elektrolyt, KCl-gesättigt) der Firma Ingold/WTW verwendet. Für die Temperaturmessung zur Kompensation wurde ein Präzisionsmessfühler TFK150 verwendet. Beide Messungen wurden mit dem pH-Meter 196 der Firma WTW durchgeführt. Die pH-Sonde wird nach [Soler 2006] einmal jährlich direkt vor der Probenahme Kampagne mit zwei Pufferlösungen bei pH 4 und pH 7 kalibriert. Der Messbereich reicht von pH 0 bis pH 14 mit einer Genauigkeit von $\pm 0,01$.

Redoxpotential-(Eh)-Messung

Die Messung des Redoxpotentials wurde mit dem oben beschriebenen pH-Meter 196 der Firma WTW durchgeführt. Eingesetzt wurde dafür ein Sondenmodell Pt 4805 (Platin/Silberchlorid) der Firma Ingold. In [Soler 2006] wird eine Standardabweichung von 20 mV angegeben und es wird auf folgendes hingewiesen: „Die vor-Ort Redox-Messungen wurden in der Probenahme Kampagne 2006 nicht sorgfältig durchgeführt, da die notwendige Zeit nicht vorhanden war. Die Daten, die aus diesen Messungen stammen sind nicht zuverlässig“ [Soler 2006; S. 6].

Elektrische Leitfähigkeitsmessung

Die Messung der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit (LF) erfolgte ebenfalls mit dem beschriebenen pH-Meter 196 der Firma WTW und einer Zweielektroden-Messzelle. Hierbei wird die Messung auf eine Referenztemperatur von 25 °C temperaturkompensiert.

Dichtemessung

Die Messung der Dichte während der Probenahme wurde mittels des digitalen Dichtemessers DMA 35 durchgeführt. Dieses Gerät weist einen Messbereich bis $1,999 \text{ g/cm}^3$ auf und es wird vom Hersteller eine Genauigkeit von $\pm 0,0011 \text{ g/cm}^3$ angegeben.

Titration zur Karbonatbestimmung

Zur Titration während der Probenahme wurden zwei Erlenmeyerkolben mit 100 ml Proben aufgefüllt und jeweils mit Salzsäure (Titration bis pH 4,3) und Natronlauge (Titration bis pH 8,2) auf den vorbestimmten pH-Wert (Umschlagpunkt des Indikators) gebracht [Soler 2006]. Säure und Lauge haben dafür jeweils eine 0,1 N Konzentration.

8.1.3 Laboranalytik

Die Durchführung der Laboranalytik erfolgte in den Jahren 2002 bis 2011 zumeist im Labor der K-UTEC Salt Technologies in Sondershausen. In den Jahren 2005 und 2007 wurden aber zu Vergleichszwecken auch Proben im Labor AUA in Jena analysiert.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 241 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Bei den Beprobungskampagnen der Jahre 1976 bis einschließlich 2004 war der Analysenumfang vergleichsweise gering und es wurden neben wenigen physikalisch-chemischen Parametern (v.a. T, pH, LF) in erster Linie die Hauptinhaltsstoffe und die für die Genese der salinaren Wässer bedeutsamen Spurenelemente Sr, Br und Li analysiert. Weitere Begleit- und Spurenstoffe sowie Isotopen des Wassers wurden nur vereinzelt im Labor bestimmt.

Während der Beprobungskampagnen in den Jahren 2005 bis 2007 (für 2008 und 2009 liegen keine Proben vor) wurde der Analysenumfang zunehmend ausgeweitet. Neben verschiedenen Begleitstoffen (z.B. Nitrit, Nitrat) wurden auch weitere Spurenstoffe (z.B. Ni, Cu, Zn, F) analysiert, und es wurde bei einigen Proben der Sauerstoffgehalt vor Ort bestimmt.

Mit der Beprobungskampagne 2010/11 ist dann der hydrochemische Analysenumfang stark erweitert worden und umfasst die folgenden Parameter:

- Physikalisch-chemische Parameter des Wassers (spez. elektr. Leitfähigkeit, Dichte, Redox-Potential, pH-Wert, Abdampfdruckstand, Sauerstoffgehalt, DOC),
- Hauptinhaltsstoffe des Wasser: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{3+} , Cl^- , HCO_3^- und SO_4^{2-} ,
- Begleitstoffe im Wasser: CO_3^{2-} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_2^- und NO_3^- ,
- Spurenstoffe im Wasser: Al, As, Pb, B, Br, Cd, Cr, F, I, SiO_2 , Co, Cu, Li, Ni, Rb, Hg, Sr, Th, U und Zn sowie
- Die im Wasser gelöste Gase: CO_2 , He, H_2 , O_2 , N_2 , CH_4 (Methan), C_3H_8 (Propan), C_4H_{10} (i-Butan), C_4H_{10} (n-Butan).

Physikalisch-chemische Parameter des Wassers

Die Bestimmung der physikalisch-chemischen Parameter wurde im Labor der K-UTEC Salt Technologies mittels der in Tab. 8.1 dargestellten Verfahren nach DIN oder DEV durchgeführt.

Tab. 8.1: Analyseverfahren, Einheiten und Bestimmungsgrenzen für die Bestimmung der physikalisch-chemischen Parameter im Labor der K-UTEC Salt Technologies.

Parameter	Verfahren	Einheit	Bestimmungsgrenze
Spez. elektr. Leitfähigkeit	DIN 27888-C8	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1,00
Dichte	DEV-C9 ⁽¹⁾	g/cm^3	–
Redox-Potential	DIN 38404-C6 ⁽¹⁾	mV	–
pH-Wert	DIN 38404-C5	–	0,10
Abdampfdruckstand	DIN 38409-H1	mg/l	5
Sauerstoffgehalt	DIN EN 25814-G22 ⁽¹⁾	mg/l	0,01
Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	DIN EN 1484-H3 ⁽¹⁾	mg/l	0,1

⁽¹⁾ Nicht akkreditiertes Analysenverfahren.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 242 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Hauptinhalts-, Begleit- und Spurenstoffe des Wassers

Die verwendeten Analyseverfahren für die Hauptinhaltsstoffe, Begleitstoffe und Spurenstoffe des Grundwassers sind zusammen mit den jeweiligen Bestimmungsgrenzen in Tab. 8.2, Tab. 8.3 und Tab. 8.4 gezeigt. Zumeist wurden die Analysen nach den entsprechenden DIN- und DEV-Verfahren durchgeführt, wobei für den Begleitstoff Nitrat und die Spurenelemente Brom und Iodid nicht näher spezifizierte laborinterne Analyseverfahren verwendet wurden.

Tab. 8.2: Analyseverfahren, Einheiten und Bestimmungsgrenzen für die Hauptinhaltsstoffe des Wassers im Labor der K-UTEC Salt Technologies.

Parameter	Verfahren	Einheit	Bestimmungsgrenze
Natrium (Na ⁺)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	0,1
Kalium (K ⁺)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	0,1
Calcium (Ca ²⁺)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	0,1
Magnesium (Mg ²⁺)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	1,0
Chlorid (Cl ⁻)	DIN 38405-D5-1	mg/l	0,03
Karbonat (CO ₃ ²⁻)	DIN ISO 10693 ⁽¹⁾	mg/l	10
Hydrogenkarbonat (HCO ₃ ⁻)	DEV-D8 ⁽¹⁾	mg/l	1
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	DIN 38405-D5-2	mg/l	1,0

⁽¹⁾ Nicht akkreditiertes Analyseverfahren.

Tab. 8.3: Analyseverfahren, Einheiten und Bestimmungsgrenzen für die Begleitstoffe des Wasser im Labor der K-UTEC Salt Technologies.

Parameter	Verfahren	Einheit	Bestimmungsgrenze
Eisen (Fe ²⁺)	DIN 38406-E1 ⁽¹⁾	mg/l	0,032
Eisen (Fe ³⁺)	DIN 38406-E1 ⁽¹⁾	mg/l	0,032
Mangan (Mn ²⁺)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	1
Ammonium (NH ₄ ⁺)	DIN 38406-E5	mg/l	0,06
Nitrit (NO ₂ ⁻)	DIN 38405-D10	mg/l	0,22
Nitrat (NO ₃ ⁻)	K-UTEC 5	mg/l	0,2
Phosphat (PO ₄ ³⁻)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	0,033

⁽¹⁾ Nicht akkreditiertes Analyseverfahren.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 243 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 8.4: Analyseverfahren, Einheiten und Bestimmungsgrenzen für die Spurenstoffe des Wassers im Labor der K-UTEC Salt Technologies.

Parameter	Verfahren	Einheit	Bestimmungsgrenze
Aluminium (Al)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	0,049
Arsen (As)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	0,004
Blei (Pb)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	0,0077
Bor (B)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	0,01
Bromid (Br)	Internes Verfahren ⁽¹⁾	mg/l	1
Cadmium (Cd)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	0,00062
Chrom (Cr)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	0,001
Fluorid (F)	DIN 38405-D4-1	mg/l	0,07
Iodid (I)	Internes Verfahren ⁽¹⁾	mg/l	1
Kieselsäure (SiO ₂)	EN ISO 11885	mg/l	0,01
Kobalt (Co)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	0,01
Kupfer (Cu)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	0,01
Lithium (Li)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	0,1
Nickel (Ni)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	0,001
Rubidium (Rb)	AAS ⁽¹⁾	mg/l	0,1
Quecksilber (Hg)	DIN EN 1483	mg/l	0,0002
Strontium (Sr)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	0,0005
Thorium (Th)	DIN EN ISO 17294-2	mg/l	0,001
Uran (U)	DIN EN ISO 17294-2	mg/l	0,0002
Zink (Zn)	DIN EN ISO 11885-E22	mg/l	0,005

⁽¹⁾ Nicht akkreditiertes Analysenverfahren.

Im Wasser gelöste Gase

Zu Beginn der Probennahmekampagne 2010/11 wurden die im Wasser gelösten Gase aus dem Schöpfapparat direkt mit einer 250 ml bzw. 500 ml fassenden Gasmaus aufgefangen und anschließend im Labor K-UTEC mittels eines Gaschromatographen analysiert. Die entsprechenden Parameter, Analysenverfahren und Bestimmungsgrenzen sind in Tab. 8.5 zusammengefasst.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Sachstandsbericht Hydrogeologie			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 244 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 8.5: Analyseverfahren, Einheiten und Bestimmungsgrenzen für die im Wasser gelösten Gase im Labor von K-UTEC Salt Technologies.

Parameter	Verfahren	Einheit	Bestimmungsgrenze
Kohlendioxid (CO ₂)	Internes Verfahren ⁽¹⁾	Vol.-%	0,01
Helium (He)	Internes Verfahren ⁽¹⁾	Vol.-%	0,002
Wasserstoff (H ₂)	Internes Verfahren ⁽¹⁾	Vol.-%	0,0004
Sauerstoff (O ₂)	Internes Verfahren ⁽¹⁾	Vol.-%	0,02
Stickstoff (N ₂)	Internes Verfahren ⁽¹⁾	Vol.-%	0,05
Methan (CH ₄)	Internes Verfahren ⁽¹⁾	Vol.-%	0,00004
Propan (C ₃ H ₈)	Internes Verfahren ⁽¹⁾	Vol.-%	0,00002
i-Butan (C ₄ H ₁₀)	Internes Verfahren ⁽¹⁾	Vol.-%	0,00002
n-Butan (C ₄ H ₁₀)	Internes Verfahren ⁽¹⁾	Vol.-%	0,00002

⁽¹⁾ Nicht akkreditierter Parameter.

Dieses Vorgehen bei der Beprobung resultierte in einem sehr hohen Anteil an Stickstoff und Sauerstoff in den Gasproben der prozentual etwa der Atmosphärenzusammensetzung entspricht. Somit schien diese Probennahmemethodik nicht geeignet, um die Zusammensetzung der in den Wasserproben gelösten Gase zu charakterisieren.

Bei den Probennahmen nach Mai 2010 kam daher eine veränderte Methodik zur Anwendung. Diese basiert auf dem Verfahren nach [Capasso & Inguaggiato 1998] und nutzt die entsprechenden Verteilungskoeffizienten zwischen Flüssigkeits- und Gasphase, um die ursprüngliche Konzentration der Gasphasen in der Flüssigkeit zu bestimmen. Dabei besteht das Probennahmegefäß aus einem Glasbehälter mit bekanntem Volumen (122 ml), das durch ein verschraubtes Headspace abgedichtet werden kann. Dieser Glasbehälter wird dann blasenfrei mit Grundwasser befüllt und es werden 10 cm³ reines Argongas injiziert wobei das äquivalente Wasservolumen über eine zweite Nadel entweichen kann. Um einen möglichen Gasverlust (v.a. He und H₂) zu vermeiden, werden die Probenflaschen dabei auf den Kopf gestellt. Anschließend wird in der Flasche ein Druckausgleich mit der Atmosphäre durchgeführt und die Flasche wird für 5 min geschüttelt. Daraufhin wird mittels einer Spritze Wasser in das nun wieder aufrecht stehende Probengefäß injiziert und mit einer zweiten Spritze wird das äquivalente Volumen des Gasvolumens für die Analyse im Gaschromatographen genommen (Laboranalysemethoden siehe Tab. 8.5).

Die Menge an gelöstem Gas pro Liter Wasser (C_i) kann dann mittels der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$C_i = \left(\frac{X_i \cdot (G + \gamma_i \cdot \omega)}{\omega} \right) \cdot 10^3 \quad (8.1)$$

mit C_i Konzentration der jeweiligen Gasphase i (cm³/l) bei Standardbedingungen (25 °C, 1 atm)



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 245 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- X_i Molarer Anteil des Gases i an der gesamten Gasphase (–)
- G Menge an extrahiertem Gas bei Standardbedingungen (cm^3)
- ω Wassermenge der Wasserprobe (ml)
- γ_i Löslichkeitskoeffizient des Gases i bei Standardbedingungen (cm^3/ml)

Ausgehend von der Menge des gelösten Gases i pro Liter Wasser, ist es dann möglich den Partialdruck (P_i) der verschiedenen Gasspezies im Gleichgewicht mit dem Wasser nach Henry's Gesetz zu berechnen:

$$P_i = R_{Si} \cdot X_i \quad (8.2)$$

- mit P_i Partialdruck der jeweiligen Gasphase i (Pa)
- R_{Si} Spezifische Gaskonstant des Gases i nach Henry ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
- X_i Molarer Anteil des Gases i an der gesamten Gasphase (–)

8.1.4 Plausibilitätsprüfung

Die Überprüfung der Plausibilität der vorliegenden Analysendatensätze wurde anhand der Vollständigkeit der Analysendatensätze im Hinblick auf die Erfassung der Hauptbestandteile des Wassers, des Ionenbilanzfehlers und des Gesamtlösungsinhaltes sowie auf Basis sich wechselseitig ausschließender Parameterwerte vorgenommen.

Vollständigkeit

Datensätze bei denen Hauptbestandteile (hier insbesondere HCO_3^-) nicht bestimmt wurden oder bei denen pH-Werte und Werte der elektrischen Leitfähigkeit fehlen, werden generell nicht berücksichtigt.

Ionenbilanzfehler

Bei der Bilanzierung der Anionen und Kationen können durch Analysenfehler, nicht analysierte Ionen oder fehlende Berücksichtigung von Komplexen Fehler entstehen. Diese sind nur bis zu einer gewissen Höhe tolerierbar. Analysendatensätze mit einem hohen Ionenbilanzfehler sind nicht oder nur eingeschränkt verwertbar.

In einem ersten Schritt wird der Ionenbilanzfehler der Analysendatensätze bestimmt. In einem Wasser muss sich unter Berücksichtigung ihrer Wertigkeit die Anzahl der positiv und negativ geladenen Ionen und Komplexen entsprechen, d.h. es sollte ein ausgeglichener Ladungszustand vorhanden sein. Bedingt durch mögliche Analysenfehler und nicht berücksichtigte Inhaltsstoffe kann sich aus der Bilanzierung der Kationen- und Anionensumme ein Ladungsungleichgewicht ergeben. Dieses Ladungsungleichgewicht wird als Ionenbilanzfehler bezeichnet und ergibt sich nach folgender Gleichung:



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 246 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

$$\text{Ionenbilanzfehler} = \frac{\sum \text{Kationen} - \sum \text{Anionen}}{\sum \text{Kationen} + \sum \text{Anionen}} \cdot 100 \quad (8.3)$$

Nach den Vorschlägen der [LAWA 1993] ist ein Ionenbilanzfehler von $\pm 10\%$ bei einer Summe der Äquivalentkonzentrationen $< 5 \text{ mmol/l}$ und ein Ionenbilanzfehler von $\pm 5\%$ bei einer Summe von $> 5 \text{ mmol/l}$ akzeptabel.

Weiterhin empfiehlt der [DVWK 1999] in Deutschland die folgende Gleichung zur Berechnung des Ionenbilanzfehlers:

$$\text{Ionenbilanzfehler (DVWK)} = \frac{\sum \text{Kationen} - \sum \text{Anionen}}{(\sum \text{Kationen} + \sum \text{Anionen}) \cdot 0,5} \cdot 100 \quad (8.4)$$

Nach [DVWK 1999] gelten Analysen mit einem Bilanzfehler von mehr als 2% (Analysen mit größer 2 mmol(eq)/l Äquivalentkonzentrationen) bzw. mehr als 5% (Analysen mit kleiner 2 mmol(eq)/l Äquivalentkonzentrationen) als nicht zuverlässig und sollten als fehlerhaft verworfen werden.

Für die meisten Analysendatensätze des Asse-Höhenzuges sind die Äquivalentkonzentrationen deutlich höher als 5 mmol(eq)/l . Dementsprechend liegen die als akzeptabel geltenden Ionenbilanzfehler bei $\pm 5\%$ (nach Gleichung 8.3; [LAWA 1993]) bzw. $\pm 2\%$ (nach Gleichung 8.4; [DVWK 1999]). Aufgrund der bei den oftmals hoch salinaren Grundwässern des Asse-Höhenzuges auftretenden größeren Analysenfehler, die aus der Bestimmung gering konzentrierter Ionen und aus der z.T. notwendigen mehrfachen Verdünnung der Proben bei diesen Wässern resultieren, wird hier dem Vorschlag der [LAWA 1993] gefolgt. Dementsprechend wurden Analysendatensätze mit einem Ionenbilanzfehler nach Gleichung 8.3 mit $< 5\%$ als akzeptabel eingestuft.

Analysendatensätze mit einem Ionenbilanzfehler von 5% bis 10% werden als fragwürdig betrachtet. Diese fragwürdigen Analysendatensätze wurden bei der Betrachtung der GW-Beschaffenheit nur unter Vorbehalt berücksichtigt, wenn für eine Messstelle keine akzeptablen Analysendatensätze zur Verfügung standen. Proben mit einem Ionenbilanzfehler von $> 10\%$ werden als fehlerhaft eingestuft und von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

Zur Berechnung des Ionenbilanzfehlers wurden die Konzentrationen in mmol(eq)/l der Hauptinhaltsstoffe und einiger Begleit- und Spurenstoffe (CO_3^{2-} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , $\text{Fe}_{(\text{tot})}$, Mn^{2+} , NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- , Br^- , I^- , Li^- , F^-) verwendet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nicht immer die Gesamtheit dieser Ionen bei einer Wasseranalyse bestimmt wurde. Insbesondere bei den Analysen vor 2010 wurden z.B. die Konzentrationen der Ionen PO_4^{3-} , NO_3^- , Br^- und F^- nur sehr selten bestimmt. Aufgrund der jeweiligen Konzentrationen dieser Ionen in den letzten Analysendaten von 2010 lässt sich aber der Einfluss der nicht bestimmten Ionen auf den Ionenbilanzfehler von etwa $< 0,1\%$ bis $0,5\%$ abschätzen. Die nicht erhobenen Konzentrationen dieser Ionen haben nach Einschätzung der Autoren nur eine geringe Auswirkung auf die Einschätzung der Plausibilität aufgrund des Ionenbilanzfehlers.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 247 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Gesamtlösungsinhalt

In Ergänzung zur Ionenbilanz kann der Vergleich des aus der Summe der Ionenkonzentrationen (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , NH_4^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- , Br^- , F^- und Li^-) berechneten Gesamtlösungsinhalt (TDS) mit dem im Labor bestimmten TDS einen weiteren wichtigen Anhaltspunkt für die Qualität eines Analysendatensatzes darstellen. Hierbei wurden Abweichungen des berechneten vom im Labor bestimmten TDS bis 10 %, die z.B. durch den Verlust von CO_2 bei der Ausfällung von Karbonaten während der Analyse bedingt sein können [Mattheß 1994], toleriert. Bei größeren Abweichungen wurden die Analysendatensätze, auch wenn sie einen akzeptablen Ionenbilanzfehler aufwiesen, unter Vorbehalt betrachtet.

Parameterkonzentrationen

Weitere Plausibilitäten der Analysendatensätze ergeben sich aus den in Tab. 8.6 gezeigten Parameterkonzentrationen, die sich erfahrungsgemäß gegenseitig ausschließen [Hölting & Coldeway 2008].

Tab. 8.6: Plausibilitäten aufgrund von Parameterkonzentrationen [Hölting & Coldeway 2008].

Wenn	Konzentration	ist ausgeschlossen
O_2	>5 mg/l	Fe^{2+} >0,05 mg/l
	>5 mg/l	Mn^{2+} >0,05 mg/l
	>5 mg/l	NO_2^- >0,05 mg/l
	>5 mg/l	NH_4^+ >0,1 mg/l
Fe^{2+} , Mn^{2+}	>0,2 mg/l	NO_3^- >2,0 mg/l
pH	<5,5 oder >8,0	$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ >1,0 mmol/l

Ein wesentlicher Parameter ist hierbei der vor Ort bestimmte Sauerstoffgehalt der Wasserprobe. Im Fall der Proben des Asse-Höhenzuges ist es entsprechend den in Kap. 8.4.2 folgenden Ausführungen unklar, ob die gemessenen Sauerstoffgehalte tatsächlich für die Verhältnisse im Grundwasserkörper repräsentativ sind. Insofern kann dieser Parameter nur bedingt zur Plausibilitätskontrolle der Analysendatensätze herangezogen werden.

8.1.5 Klassifizierung und Typisierung

Eine Klassifikation für Grundwasser in Abhängigkeit von der Gesamtkonzentration der gelösten Stoffe erfolgt nach [Freeze & Cherry 1979] entsprechend folgender Tab. 8.7:

Tab. 8.7: Grundwasserklassifizierung nach dem Gesamtlösungsinhalt [Freeze & Cherry 1979].

Bezeichnung	Konzentration gelöster Bestandteile
Süßwasser	<1 g/l
Brackwasser	1 bis 10 g/l
Salzwasser	10 bis 100 g/l
Sole	>100 g/l



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 248 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die hydrochemische Typisierung der Grundwässer wird aufgrund der Ionenkonzentrationen, die in mmol(eq)/l berechnet wird, vorgenommen. Dabei werden diejenigen Ionen zur Typisierung verwendet, die einen Anteil von mehr als 20 % an der gesamten Ionensumme haben [Mattheß 1994].

In Ergänzung zur hydrochemischen Typisierung mittels der Ionenkonzentrationen wird eine erste Einstufung der Analysendaten aufgrund des Chlorid/Bromid-Verhältnisses gegeben. Nach [Holser 1979] lässt sich die Herkunft von Grundwässern aufgrund der folgenden typischen Cl/Br-Verhältnisse (berechnet aus den jeweiligen Konzentrationen in mmol/eq/l) differenzieren:

- Grundwasser, das Kontakt mit marinen Salzgesteinen hatte, die bedeutende Mengen an Kalisalzen, wie z.B. Sylvinit und Carnallit, enthalten, weist i.d.R. niedrige Cl/Br-Verhältnisse von unter 200 auf.
- Von marinen Wässern abstammendes Grundwasser zeigt charakteristische Cl/Br-Verhältnisse um ca. 650.
- Grundwasser mit intensivem Kontakt zu NaCl-dominierten Salinargesteinen mariner Herkunft weist i.d.R. Cl/Br-Verhältnisse von mehr als 2000 auf.

Eine weitere Charakterisierung der Analysendaten ergibt sich aus dem Vergleich mit den geogenen Hintergrundwerten der jeweiligen Parameter. Kompilationen der geogenen Hintergrundwerte für verschiedene lithologische und stratigraphische Einheiten in Deutschland sind u.a. in [Mattheß 1994; DVWK 1999; Kunkel 2004], sowie in diversen Bundesland-spezifischen Veröffentlichungen (z.B. [LGRB 2009]) enthalten. Eine zusammenfassende Darstellung der geogenen Hintergrundwerte ist in Tab. 8.8 gegeben; diese Tabelle enthält auch die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung [TWVO 2011]. Ein Vergleich mit geogenen Hintergrundwerten ist für die z.T. hochmineralisierten Grundwässer des Asse-Höhenzuges nur bedingt sinnvoll. Aufgrund dessen werden die Daten der geogenen Hintergrundwerte in erster Linie zum Vergleich mit den in den Grundwässern der Asse gemessenen Begleit- und Spurenstoffen verwendet. Dies erlaubt eine erste Einstufung der jeweiligen Elementkonzentrationen in den Messstellen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 249 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 8.8: Obergrenzen bzw. Ober- und Untergrenzen der natürlichen, ubiquitär überprägten Grundwasserbeschaffenheit für verschiedene Festgesteinseinheiten gemäß [Kunkel et al. 2004] sowie Grenzwerte der Trinkwasserverordnung [TWVO 2011].

Parameter	Einheit	Kalksteine des Muschelkalk	Sandsteine und silikat. Abfolgen	Sandsteine des Buntsandstein	Grenzwert TWVO
O ₂	mg/l	3,0 – 10,2	7,2 – 10,8	4,9 – 10,8	
pH	–	7,1 – 7,6	6,9 – 7,7	6,7 – 7,6	≥6,5 und ≤9,5
LF	µS/cm	1105	875	692	2790
DOC	mg/l	1,2	3,7	3,2	
Na	mg/l	9,2	24	16	200
K	mg/l	2,1	7,4	3,6	
Mg	mg/l	50	51	23	
Ca	mg/l	160	134	26	
HCO ₃	mg/l	440	403	95	
SO ₄	mg/l	186	95	58	250
Cl	mg/l	49	55	17	250
Fe	mg/l	0,05	0,10	0,09	0,2
Mn	mg/l	0,01	0,07	0,07	0,05
NH ₄	mg/l	0,01	0,004	0,01	0,5
NO ₃	mg/l	40	8,5	26	50
NO ₂	mg/l	0,02	0,01	0,01	0,5
PO ₄	mg/l	0,14	0,01	0,33	
Al	mg/l	0,030	0,034	0,039	0,2
As	mg/l	0,0018	0,0049	0,0031	0,01
B	mg/l	0,024	0,083	0,022	1
Br	mg/l	0,07	0,06	0,08	
Cd	mg/l	0,00018	0,00022	0,00041	0,003
Co	mg/l	0,0075	0,002	0,00067	
Cr	mg/l	0,0013	0,0035	0,002	0,05
Cu	mg/l	0,0089	0,02	0,0026	2
F	mg/l	0,32	0,36	0,18	1,5
Hg	mg/l	0,0008	0,00003	0,00008	0,001
I	mg/l	0,01	0,01	0,01	
Li	mg/l	0,012	0,065	0,022	
Ni	mg/l	0,0061	0,0076	0,0044	0,02
Pb	mg/l	0,002	0,0015	0,0075	0,01
SiO ₂	mg/l	0,0064	0,0067	0,0074	
Sr	mg/l	1,912	0,896	0,544	
U	mg/l	0,0001 – 0,1 ⁽¹⁾			0,01
Zn	mg/l	0,014	0,03	0,017	

⁽¹⁾ geogener Normalbereich sehr stark abhängig vom Gesteinsumfeld.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 250 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

8.1.6 Datengrundlage

Insgesamt liegen 1108 hydrochemische Analysendatensätze für 25 GWM aus den Jahren von 1976 bis 2011 vor. Weiterhin liegen 59 Analysendatensätze von 11 Quellen- und Vorflutermessstellen sowie einem Gewässer (Fischteich) aus dem gleichen Zeitraum vor. Davon wurden 139 Analysendatensätze für die GWM und 19 Analysendatensätze für die Quellen und Vorfluter bzw. zwei Analysen für das Gewässer aus den 10 hydrologischen Jahren von 2002 bis 2011 detailliert ausgewertet; sie sind in Anhang E dieses Berichts jeweils als Analysendatenblätter enthalten.

Für die Darstellung der physikalisch-chemischen Parameter wie pH-Wert, Redoxpotential (Eh-Wert), spezifische elektrische Leitfähigkeit und Dichte wurde den vor Ort bestimmten Parametern generell der Vorzug gegeben. Im Labor kann zwar die Bestimmung dieser Parameter normalerweise mit einer höheren Genauigkeit erfolgen als direkt bei der Probennahme, möglicherweise sind die im Labor erhaltenen physikalisch-chemischen Parameter aber durch Faktoren wie z.B. Austausch mit der Umgebungsluft sowie Lagerung gegenüber den vor Ort gemessenen Parametern beeinträchtigt. In jedem Fall wird die Grundlage jedes Parameters im Text genannt bzw. durch einen entsprechenden tiefgestellten Zusatz kenntlich gemacht (z.B. LF_{lab}).

Für die hydrochemische Darstellung, Bilanzierung und Interpretation wurden die chemischen Parameter, die in der Einheit mg/l vorliegen, mittels der in [Hölting & Coldeway 2008] angegebenen äquivalenten Molmassen in die Einheit mmol(eq)/l umgerechnet.

Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze in den Analysen des Labors K-UTEC Salt Technologies aus den Jahren 2010 und 2011 wurden in den Analysendatenblättern mit dem jeweiligen Wert für die Nachweisgrenze des Elementes gekennzeichnet (z.B. als „<0,025 mg/l“). Eine Übersicht der element-spezifischen Werte für die Bestimmungsgrenze dieser Analysen ist in den Tab. 8.2 bis 8.4 gegeben. Werte unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze wurden bei den Berechnungen (z.B. des Gesamtlösungsinhaltes) nicht berücksichtigt.

In den Analysendatensätzen der Labore K-UTEC Salt Technologies und AUA, die in den Jahren 2002 bis 2010 erstellt worden sind, wurde in der Aquachem-Datenbank für die Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze nur eine „0“ angegeben, was jedoch nicht einem „echten“ Nullwert entspricht. Diese Analysenergebnisse wurden in den Analysendatenblättern als nicht nachweisbar (n.n.) gekennzeichnet und bei den Berechnungen ebenfalls nicht berücksichtigt.

8.2 HYDROCHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

Insgesamt wird bei der Darstellung der GW-Beschaffenheit ein Schwerpunkt auf die Messstellen im hydrogeologischen Messnetz und die zur Verfügung stehenden hydrochemischen Daten für den Zeitraum von 2002 bis 2011 gelegt. Es wird im Folgenden für jede Messstelle im hydrogeologischen Messnetz ein Kurzüberblick über die wesentlichen Ergebnisse zur GW-Beschaffenheit gegeben. Analog zur Darstellung der GW-Ganglinien in Kapitel 4.2 werden auch hier die GWM (d.h. die H-, P und R-Messstellen) entsprechend der strukturgeologischen Position auf der NE- bzw. SW-Flanke der Asse-Struktur und der stratigraphischen Einstufung des Hauptzuflusshorizontes

				<h2 style="margin: 0;">Sachstandsbericht Hydrogeologie</h2>			
Bundesamt für Strahlenschutz							
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 251 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22100000	HGG	R	0003	00		Stand: 27.08.2014

aufgeführt. Anschließend werden die Ergebnisse der Beprobung der Quellen und Vorfluter (M-Messstellen) ebenfalls nach der stratigraphischen Einstufung des Quellhorizontes dargestellt.

Der hydrochemische Kurzüberblick umfasst i.W. die folgenden Punkte:

- Daten zu den Probennahmen (Anzahl, Tiefenlage und Besonderheiten).
- Einschätzung der Plausibilität der Analysendatensätze anhand der Ionenbilanz, des Lösungsrückstandes (gemessen vs. berechnet) und, falls vorhanden, anhand verschiedener Parameterwerte die sich erfahrungsgemäß gegenseitig ausschließen.
- Zusammenfassung der wichtigsten chemisch-physikalischen Parameter.
- Hydrochemische Charakterisierung (Hauptinhaltsstoffe, Begleitstoffe, Spurenstoffe, Elementverhältnisse), Klassifizierung und Typisierung gemäß Kap. 8.1.5 sowie die Darstellung der Hauptinhaltsstoffe im Schoeller-Diagramm.
- Bezugnahme zu den hydrochemischen Daten aus den Jahren vor 2002, die in den entsprechenden GSF-Jahresberichten und in [GSF 1994] dargelegt sind. Dabei erfolgte ein relativ kontinuierliches Messprogramm mit jährlichen Probennahmekampagnen. Diese waren aber i.W. beschränkt auf die Hauptinhaltsstoffe (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, HCO₃) und die Spurenstoffe Br und Li. Die Ergebnisse wurden in den Jahresberichten tabellarischer Form dargestellt und für jede Messstelle in einem Schoeller- sowie in einem Piper-Diagramm aufgetragen. Die gemessenen vor-Ort-Parameter wurden dabei i.d.R. nicht ausgewertet und eine Plausibilitätskontrolle wurde nicht durchgeführt.

8.2.1 Buntsandstein

GWM H3 (su, NE-Flanke)

Für die GWM H3 (Messpunkthöhe 226,19 mNN) liegen insgesamt 18 Analysendatensätze vor, davon drei aus den Jahren 2003 bis 2010 (Tab. E.1 im Anhang) und 15 aus den Jahren 1976 bis 1988. Der beprobte Tiefenbereich liegt zwischen 85 und 89 m unter dem Ansatzpunkt.

Alle drei in Tab. E.1 dargestellten Analysendatensätze für die GWM H3 weisen hohe Ionenbilanzfehler auf. Nur eine Probe (H3-2010-85m) ist mit 8,8 % (Anionenüberschuss) im hier noch berücksichtigten Bereich zwischen 5 % und 10 %. Dabei ist der Ionenbilanzfehler nicht systematisch verteilt: Die Probe von 2007 weist ebenfalls einen Anionenüberschuss auf, während die Probe von 2003 einen Kationenüberschuss zeigt. Eine Ursache für den hohen Ionenbilanzfehler von 22,2 % bei der Probe H3-2007-85m (Labor AUA) kann in einer fehlerhaften Bestimmung des Ca-Gehaltes liegen. Dieser liegt bei 0,37 mg/l, was angesichts der übrigen Ionenkonzentrationen als nicht plausibel eingestuft wird. Insgesamt wird im Folgenden somit nur die Probe H3-2010-85m betrachtet, deren Analysenergebnis allerdings als fragwürdig eingestuft wird. Diese Einstufung wird gestützt durch einen Vergleich des gemessenen (816 mg/l) mit dem berechneten Lösungsrückstand (1069 mg/l) für diese Probe, die auf eine deutliche Diskrepanz hinweist und somit ebenfalls einen möglichen Analysenfehler anzeigt.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 252 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

In Bezug auf die vor Ort bestimmten physikalisch-chemischen Parameter, weist die Probe H3-2010-85m einen hohen Sauerstoffgehalt von 9,73 mg/l auf. Der pH Wert liegt mit 7,1 im neutralen Bereich und der Eh-Wert von 561 mV zeigt oxidierende Verhältnisse an. Die vor Ort gemessene LF dieser Probe liegt bei 1170 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und die Dichte bei 1,000 g/cm^3 .

Wie bereits durch die TDS- und LF-Werte angezeigt, ist das Wasser der GWM H3 nur gering mineralisiert und kann aufgrund der Konzentrationen der Hauptinhaltsstoffe als Süßwasser vom Mg-Ca-HCO₃-Typus eingestuft werden. Die Verteilung der Hauptinhaltsstoffe ist im Schoeller-Diagramm (Abb. 8.1) gezeigt. Nitrat zeigt in der Probe H3-2010-85m einen Wert von 32 mg/l während Ammonium generell nicht nachgewiesen wurde. Die Spurenelementanalysen ergeben für die Elemente Al, B, Li, Ni, U und Zn keine Konzentrationen, die deutlich über den geogenen Hintergrundwerten für Sandsteinfolgen liegen. Nur B (0,12 mg/l), Br (2,7 mg/l) und Cr (0,01 mg/l) weisen gegenüber den geogenen Hintergrundwerten signifikant erhöhte Konzentrationen auf. Das aus den mmol(eq)/l berechnete Mg/Ca-Verhältnis liegt bei 1,1, das Na/Cl-Verhältnis bei 0,6 und das Na/K-Verhältnis bei 19. Das Cl/Br-Verhältnis von 88 ist ungewöhnlich niedrig.

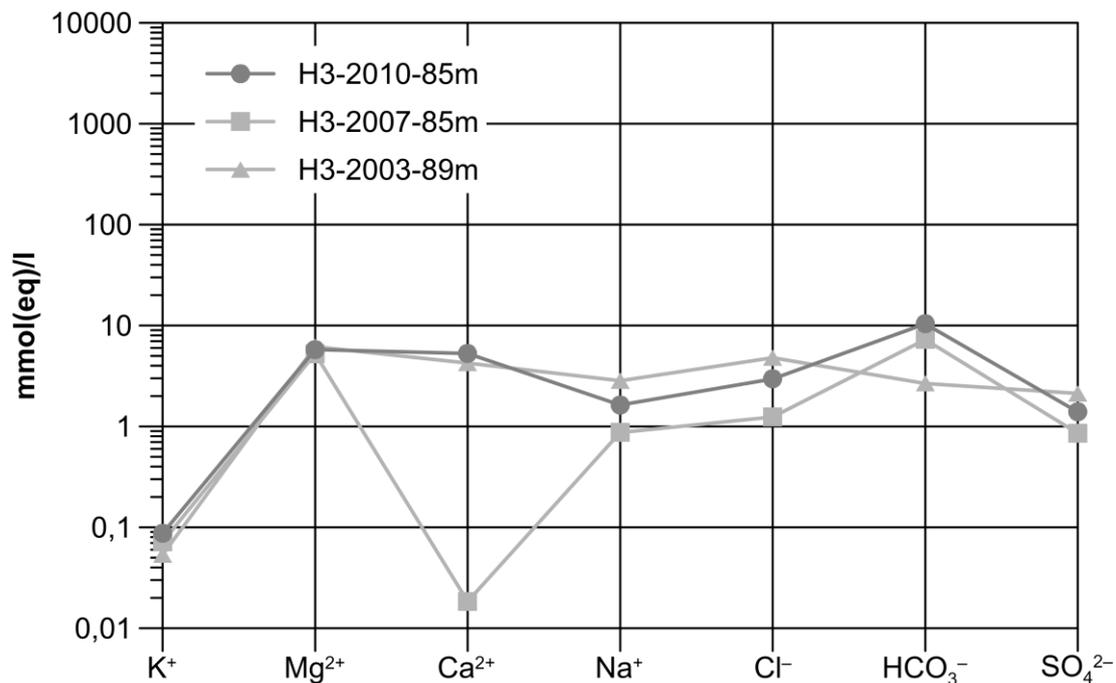


Abb. 8.1: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in der GWM H3. Dunkelgraue Probensymbole kennzeichnen fragwürdige Analysendatensätze mit Ionenbilanzfehlern >5 % bis <10 %, hellgraue Symbole und Linien fehlerhafte Analysendatensätze mit einem Ionenbilanzfehler von >10 % (siehe Text).

Im Vergleich mit den Proben vor 2002 aus den Jahren 1976 bis 1988 (Daten in den GSF-Jahresberichten sowie in [GSF 1994]), die eine plausible Ionenbilanz aufweisen, ergeben sich keine signifikanten Unterschiede in der hydrochemischen Charakteristik. Der berechnete TDS-Gehalt ist – bis auf eine Ausnahme mit 3539 mg/l aus dem Jahr 1980 (94 m Tiefe) – relativ konstant im



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 253 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Bereich der Minimal- und Maximalwerte von 577 mg/l resp. 1368 mg/l und ist somit vergleichbar zu den Werten aus dem Zeitraum 2003 bis 2010. Die Hauptionenkonzentrationen zeigen ebenfalls ein Süßwasser vom Mg-Ca-HCO₃-Cl-Typus an, der sich nicht wesentlich von den o.g. jüngeren Analyseergebnissen unterscheidet. Eine systematische Veränderung der Wasserbeschaffenheit mit der Tiefe oder der Zeit der Probennahme ist aufgrund der vorliegenden Daten nicht festzustellen.

Schacht Asse 1 (su, NE-Flanke)

Für den Schacht Asse 1 (Messpunkthöhe 160,45 mNN) liegen insgesamt 17 Analysendatensätze aus den Jahren 1980 bis 2011 vor, davon stammen fünf aus den Jahren 2003 und 2011 (Tab. E.2 im Anhang). Proben wurden in Tiefen von 90 m und 141 m (2003) sowie in 40 m, 60 m und 112 m (2011) genommen.

Die in Tab. E.2 gezeigten Analysendatensätze für Schacht 1 zeigen einen geringen Ionenbilanzfehler von <5 % für die beiden Proben aus dem Jahr 2003 und einen unakzeptabel hohen Ionenbilanzfehler von 17,2 % bis 26,9 % (jeweils Anionenüberschuss) für die drei Proben aus dem Jahr 2011. Insgesamt werden somit nur die beiden Analysendatensätze aus dem Jahr 2003 als plausibel eingestuft, während die drei Analysendatensätze aus dem Jahr 2011 als fehlerhaft betrachtet werden. Diese Einstufung wird gestützt durch den Vergleich der im Labor gemessenen und berechneten TDS-Gehalte, die für die Proben aus dem Jahr 2003 eine sehr gute Übereinstimmung zeigen, während sich für die Proben aus 2011 signifikante Differenzen ergeben.

In Bezug auf die vor Ort gemessenen physikalisch-chemischen Parameter wurden für die Analysendatensätze, die eine plausible Ionenbilanz aufweisen, keine Sauerstoffgehalte und keine pH-Werte bestimmt. Die Eh-Werte der als akzeptabel erachteten Proben von ca. 440 mV sind indikativ für oxidierende Verhältnisse. Die vor Ort gemessene LF dieser Proben aus Tiefen von 90 m und 141 m liegt bei ca. 3600 µS/cm, die Dichte bei 1,002 g/cm³. Auffällig sind die hohen Temperaturen von 23,3 °C bei den beiden Proben aus dem Jahr 2003. Möglicherweise wurde hier versehentlich der Wert für die Temperatur im Labor eingetragen.

Die TDS-Gehalte (berechnet als auch im Labor gemessen) von ca. 2400 mg/l zeigen eine geringe Mineralisierung und dementsprechend kann das Wasser in Schacht Asse 1 als relativ gering mineralisiertes Brackwasser vom Ca-Mg-Na-Cl-SO₄-Typ eingestuft werden. Die Verteilung der Hauptinhaltsstoffe ist im Schoeller-Diagramm (Abb. 8.2) gezeigt. Aufgrund der physikalisch-chemischen Parameter und der Ionenkonzentrationen ergibt sich keine signifikante Änderung der GW-Beschaffenheit in Schacht 1 mit der Tiefe. Es zeigen sich keine Auffälligkeiten bei den 2003 bestimmten (und für 2011 unter Vorbehalt dargestellten) Begleitstoffen wie z.B. Nitrat (max. 12,45 mg/l) und Ammonium (<1 mg/l). Die Spurenstoffe (2003 nur Br und Sr bestimmt; 2011 wurden Al, As, B, Br, Cd, Co, Cr, Cu, F, I, Li, Ni, Pb, Rb, Si, Sr, Zn analysiert) weisen, mit Ausnahme von Br (max. 19,57 mg/l), Konzentrationen unter der jeweiligen Nachweisgrenze bzw. im Bereich der geogenen Hintergrundwerte für Sandsteinfohlen auf. Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen bei 0,8, die Na/Cl-Verhältnisse bei 0,6 und die Na/K-Verhältnisse bei ca. 45. Das Cl/Br-Verhältnis, das sich aufgrund der fehlerhaften Analysen von 2011 nur unter Vorbehalt angeben lässt, weist einen Wertebereich zwischen 473 und 954 auf.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 254 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

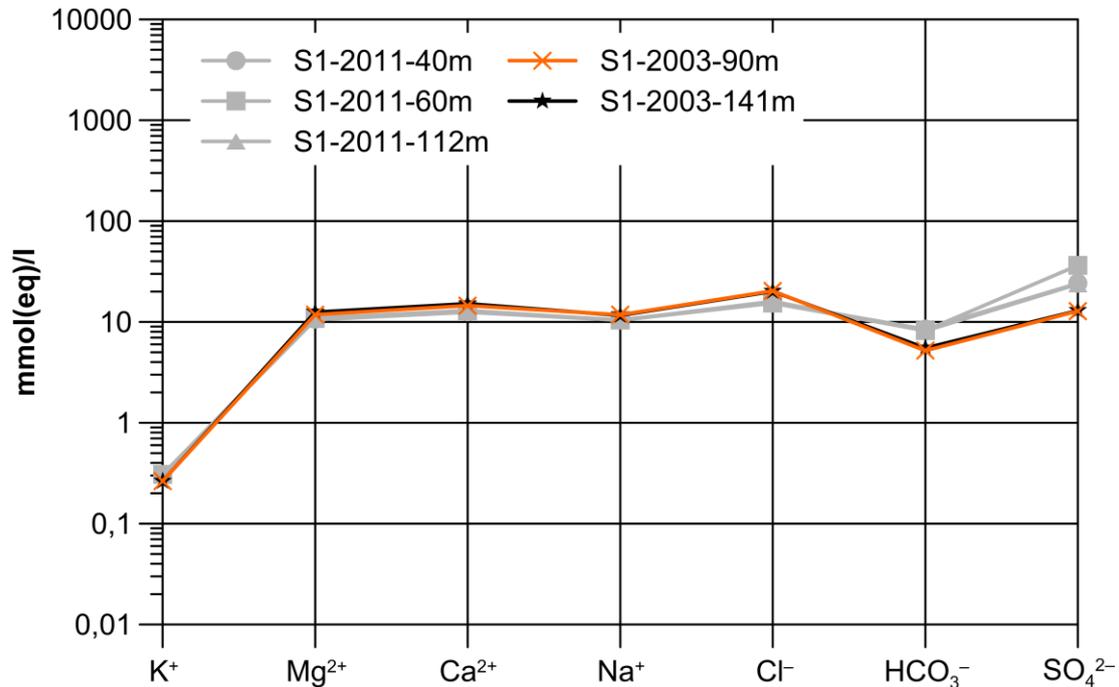


Abb. 8.2: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in Schacht Asse 1. Die hellgraue Symbole und Linien zeigen die als fehlerhaft eingestuftens Analysendatensätze mit einem Ionenbilanzfehler von >10 % (siehe Text).

Im Vergleich mit den Proben vor 2002 aus den Jahren 1980 bis 1996 (Daten in den GSF-Jahresberichten sowie in [GSF 1994]), die eine plausible Ionenbilanz aufweisen, ergeben sich keine signifikanten Unterschiede in der hydrochemischen Charakteristik. Der berechnete TDS ist relativ konstant im Bereich der Minimal- und Maximalwerte von 2610 mg/l resp. 4886 mg/l und ist somit vergleichbar zu den Werten aus den Jahren 2003 (und den fehlerhaften Werten aus 2011). Die Hauptionenkonzentrationen zeigen ebenfalls ein Brackwasser vom Ca-Mg-Na-Cl-SO₄-Typus an. Eine systematische Veränderung der Wasserbeschaffenheit mit der Tiefe der Probennahme ist aus den hydrochemischen Daten nicht abzuleiten.

Schacht Asse 3 (su, z3r, z)

Es liegen insgesamt sechs Analysendatensätze vor (Tab. E.3 im Anhang). Drei Analysen stammen aus dem Jahr 2004 von Wasserproben aus 10 m, 100 m und 300 m Tiefe. Weitere drei Proben wurden 2011 in Tiefen von 185, 575 und 600 m genommen und analysiert.

Die Ionenbilanzfehler sind für alle betrachteten Analysendatensätze deutlich kleiner als 5 % und liegen somit im plausiblen Bereich (Tab. E.3). Diese Einschätzung wird gestützt durch die gute Übereinstimmung der berechneten mit dem im Labor bestimmten TDS-Gehalt für alle Proben.

In Bezug auf die vor Ort und Labor gemessenen physikalisch-chemischen Parameter, zeigt der Sauerstoffgehalt der Proben aus 2011 einen sehr niedrigen Wert von 1,47 mg/l für die Probe aus



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 255 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

185 m Tiefe, während die Proben aus 575 m und 600 m Tiefe einen deutlich höheren Wert aufweisen (9,81 mg/l bzw. 10,08 mg/l). Der Eh-Wert der Proben (ca. -31 mV bis 201 mV) zeigt ein reduzierendes bis schwach oxidierendes Milieu an. Der vor Ort gemessene pH-Wert liegt mit 7,5 bis max. 10 im schwach bis stark alkalischen Bereich. Die LF ist mit gemessenen 3320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis 253 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sehr deutlich von der Tiefe abhängig. Die gemessene Dichte der Proben aus den unterschiedlichen Tiefenbereichen liegt zwischen 1,003 g/cm^3 und 1,207 g/cm^3 zeigt eine ausgeprägte Dichteschichtung an. Mit 10 mg/l bis 24,6 mg/l sind die im Labor bestimmten DOC-Gehalte auffällig hoch (nur für 2010 bestimmt).

Das Grundwasser aus Schacht Asse 3 zeigt eine deutliche Tiefenabhängigkeit der Mineralisierung (TDS_{calc} von 2596 mg/l in einer Tiefe von 10 m bis zu 323 704 mg/l bei 600 m) und ist somit als Brackwasser bzw. als Sole einzustufen. Aufgrund der Konzentration der Hauptinhaltsstoffe lassen sich, mit Ausnahme der oberflächennahen Probe S3-2004-10m die vom Typus Na-Ca- SO_4 ist, die Wässer dieser GWM insgesamt als Na-Cl-Wasser klassifizieren. Allerdings zeigt die Verteilung der Hauptinhaltsstoffe im Schoeller-Diagramm (Abb. 8.3) deutliche Unterschiede zwischen den Proben. Auffällig ist v.a., dass die Proben aus mehr als 575 m Tiefe eine um den Faktor 10 höhere Mg-Konzentration aufweisen.

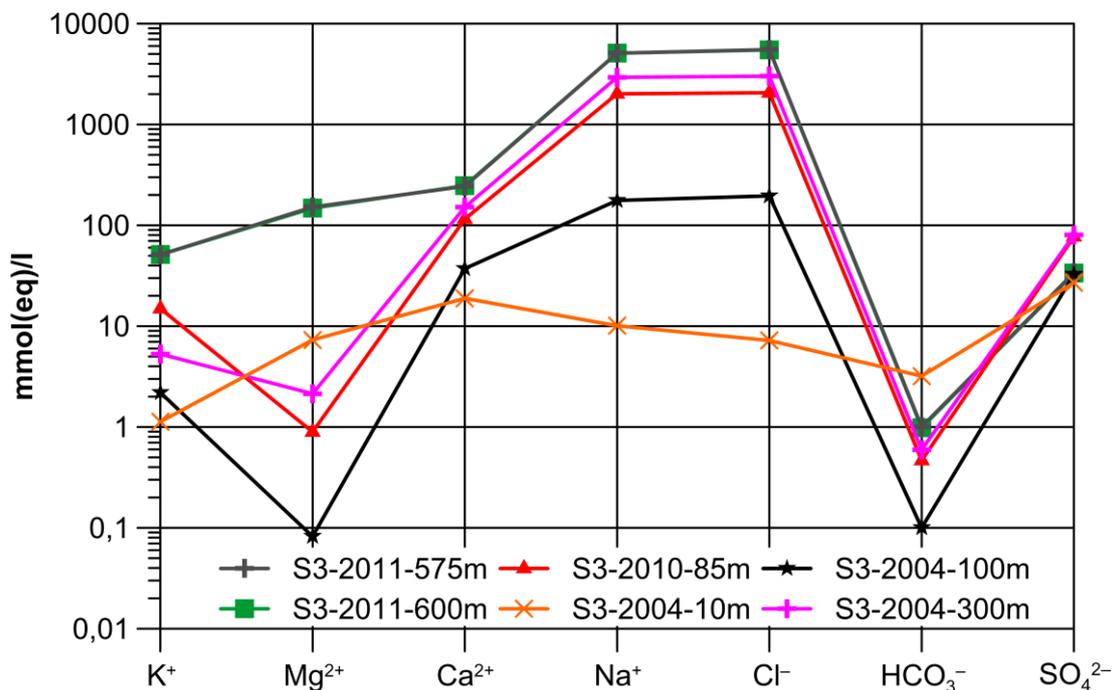


Abb. 8.3: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in Schacht Asse 3.

Die Nitratkonzentrationen sind – mit Ausnahme der beiden oberflächennahen Proben (99,4 mg/l bzw. 9,6 mg/l) – kleiner als 2 mg/l. Die Spurenelementanalysen, zeigen – mit Ausnahme von B, Br, Li und Sr – Werte unter oder nahe der Nachweisgrenze und keine Konzentrationen, die signifikant über den geogenen Hintergrundwerten liegen. Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 256 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Verhältnisse liegen zwischen 0,002 und 0,6, die Na/Cl-Verhältnisse um etwa 0,9 bis max. 1,4 und die Na/K-Verhältnisse zwischen ca. 9 und 554. Das Cl/Br-Verhältnis liegt zwischen 2093 und 3617.

Im Vergleich mit den Proben vor 2002 aus den Jahren 1980 und 2001 (Daten in den GSF-Jahresberichten sowie in [GSF 1994]), die eine plausible Ionenbilanz aufweisen, ergeben sich für die Proben aus vergleichbaren Tiefenbereichen keine signifikanten Unterschiede.

GWM H24b (so1-so2, SW-Flanke)

Für die GWM H24b (Messpunkthöhe 205,48 mNN) liegen insgesamt 36 Analysendatensätze vor, davon 18 aus den Jahren 2002 bis 2010 (Tab. E.4 im Anhang) und 18 aus den Jahren 1986 bis 2001. Für zwei Analysen aus dem Jahr 2005 sind nur vereinzelte physikalisch-chemische Parameter vorhanden und es wurden keine Ionenkonzentrationen bestimmt. Beprobte wurden in den letzten 10 Jahren ausschließlich die Tiefenlagen 110 m und 170 m, oberflächennähere Abschnitte der GWM H24b wurden nur in den vorangegangenen Jahren beprobt.

Die in Tab. E.4 gezeigten Ionenbilanzfehler der meisten Proben aus der GWM H24b sind geringer als 5 % und liegen damit im plausiblen Bereich. Nur für zwei, im Labor AUA analysierten Proben (H24b-2006-110m und H24b-2006-170m) lag der Ionenbilanzfehler zwischen -5 % und -10 %, diese Analysendatensätze werden somit als fragwürdig eingestuft. Die vor Ort und im Labor gemessenen elektrischen Leitfähigkeiten der Proben stimmen für die Proben ab 2007 (keine Vor-Ort-Werte aus der Zeit davor) jeweils gut überein. Der Lösungsrückstand, der im Labor nur für die beiden Proben aus dem Jahr 2010 bestimmt wurde, liegt ca. 20 % unter dem aus den Elementkonzentrationen berechneten Wert und weist somit auf eine gewisse Diskrepanz hin.

In Bezug auf die vor Ort und im Labor gemessenen physikalisch-chemischen Parameter, zeigt der Sauerstoffgehalt (ca. 11,2 mg/l bis 12,7 mg/l) und Eh-Wert (ca. 150 mV bis 240 mV) ein oxidierendes Milieu an. Der vor Ort gemessene pH-Wert liegt mit 6,6 bis 7,1 annähernd im neutralen Bereich. Die LF ist mit gemessenen 114 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis 163 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sehr hoch. Die gemessene Dichte liegt zwischen 1,086 g/cm^3 und 1,093 g/cm^3 . Mit 26,3 mg/l bzw. 26,4 mg/l sind die im Labor bestimmten DOC-Gehalte auffällig hoch (nur für 2010 bestimmt).

Das Grundwasser aus der GWM H24b ist stark mineralisiert ($\text{TDS}_{\text{calc}} = 109\,951 \text{ mg/l}$ bis 140 092 mg/l) und somit als Sole einzustufen. Das Wasser aus dem oberen Bereich der GWM bis 110 m Tiefe ist etwas geringer mineralisiert als das Wasser aus der Tiefe von 170 m, wobei die Hauptionenverhältnisse ähnlich sind. Aufgrund der Konzentration der Hauptinhaltsstoffe lassen sich die Wässer dieser GWM generell als Na-Cl-Wasser klassifizieren. Die Verteilung der Hauptinhaltsstoffe ist im Schoeller-Diagramm (Abb. 8.4) gezeigt. Die Nitratkonzentrationen der als plausibel erachteten Proben sind durchweg gering (zumeist $<1 \text{ mg/l}$, nur zwei Proben liegen mit 1,7 und 2,4 mg/l leicht darüber). Einzig die beiden Proben die einen höheren Ionenbilanzfehler $>5 \%$ aufwiesen (H24b-2006-110m und H24b-2006-170m) weisen extrem hohe Nitratkonzentrationen von 190 mg/l bzw. 140 mg/l auf.

Die Spurenelementanalysen die von 2002 bis 2010 mit zunehmendem Analysenumfang bestimmt wurden, zeigen – mit Ausnahme von B, Br, Li und Sr – Werte unter oder nahe der Nachweisgrenze und keine Konzentrationen, die signifikant über den geogenen Hintergrundwerten liegen. Die aus



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 257 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen zwischen 0,9 und 1,8, die Na/Cl-Verhältnisse um etwa 0,7 bis 0,9 und die Na/K-Verhältnisse zwischen ca. 100 und 300. Das Cl/Br-Verhältnis liegt zwischen 240 und 550.

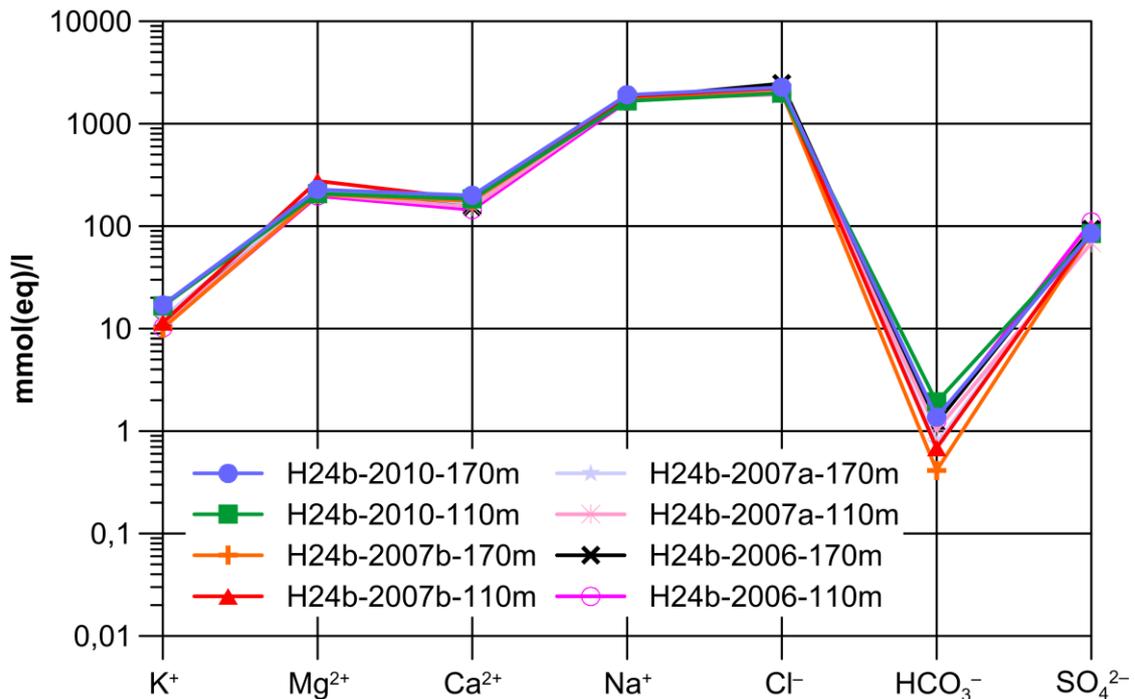


Abb. 8.4: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H24b. Gezeigt sind hier aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die Analysen der Jahre 2006 bis 2010. Die im Anhang in Tab. E.4 dargestellten Analysen der Jahre 2002 bis 2005 zeigen aber sehr ähnliche Konzentrationen der Hauptinhaltsstoffe.

Im Vergleich mit den Proben vor 2002 aus den Jahren 1986 bis 2001 (Daten in den GSF-Jahresberichten sowie in [GSF 1994]), die eine plausible Ionenbilanz aufweisen, ergeben sich signifikante Unterschiede in der hydrochemischen Charakteristik v.a. in Bezug auf den TDS. Der berechnete TDS ist in den Jahren seit 1986 von sehr niedrigen Werten von 3424 mg/l im oberen Bereich der Wassersäule (Tiefe 48 m), die möglicherweise noch Bohrspülungseinfluss anzeigen (Messstelle 1985 errichtet), und Werten von ca. 26 500 mg/l in größerer Tiefe (80 m), rasch auf Werte von ca. 100 000 mg/l bis 110 000 mg/l im Jahr 2001 angestiegen. Die Hauptionenkonzentrationen zeigen ebenfalls eine Sole vom Na-Cl-Typus an, die – mit Ausnahme eines etwas erhöhten Ca- und SO₄-Gehaltes in den Jahren 1986 bis 1988 im Vergleich zu den Analysendaten aus den darauffolgenden Jahren – relativ konstante Ionenverhältnisse aufweist.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 258 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

8.2.2 Muschelkalk

GWM H1 (*mu*, NE-Flanke)

Für diese GWM (Messpunkthöhe: 152,4 mNN), die ausschließlich im Unteren Muschelkalk der NE-Flanke verfiltert ist, liegen zwei Probensätze aus den Jahren 2003 und 2007 (Tab. E.5 im Anhang) mit jeweils zwei Proben aus unterschiedlichen Tiefenbereichen vor (30 m bzw. 40 m und 65 m bzw. 68 m Tiefe). Hinzu kommen noch 22 Analysendatensätze aus den Jahren 1976 bis 1988.

Der Ionenbilanzfehler liegt für alle in Tab. E.5 gezeigten Proben unter 5 %. Eine weitere Überprüfung der Analysen mittels des gemessenen und berechneten TDS ist mangels Analysendaten nicht möglich. Somit sind die für diese Messstelle vorliegenden Wasseranalysen unter Vorbehalt als plausibel einzustufen.

Die vor Ort gemessenen physikalisch-chemischen Parameter der GWM H1 zeigen pH-Werte um den neutralen Bereich. Der für eine Probe gemessene ungewöhnlich hohe pH-Wert von 11,3 ist höchstwahrscheinlich ein Übertragungsfehler, denn er ist gleich dem Wert für die Probennahmetemperatur. Der Sauerstoffgehalt wurde bei den Probennahmekampagnen 2003 und 2007 nicht bestimmt. Die 2003 vor Ort bestimmten Eh-Werte sind generell größer als 400 mV und somit indikativ für oxidierende Verhältnisse. Die vor Ort gemessene LF liegt bei 1900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und die Dichte liegt bei Werten von 1,000 g/cm^3 bzw. 1,001 g/cm^3 .

Das Wasser der GWM H1 ist gering mineralisiert ($\text{TDS}_{\text{calc}} = 1473 \text{ mg}/\text{l}$ bis 2081 mg/l) und kann als Brackwasser vom Ca-SO_4 -Typ eingestuft werden. Die Verteilung der Hauptinhaltsstoffe ist im Schoeller-Diagramm (Abb. 8.5) gezeigt. Es zeigen sich keine größeren Unterschiede der Wasserbeschaffenheit zwischen den beprobten Horizonten in 30 m und 40 m bzw. 65 m und 68 m Tiefe, jedoch ist eine leichte Zunahme der Mineralisierung in den Jahren von 2003 bis 2007 zu beobachten. In Bezug auf die Begleitstoffe ist Nitrat in Konzentrationen von 15,8 mg/l und 16,1 mg/l in den beiden Proben aus dem Jahr 2003 enthalten, geringere Konzentrationen (3,0 mg/l und 8,4 mg/l) finden sich in den Proben aus dem Jahr 2007. Ammonium wurde nicht nachgewiesen. Von den Spurenstoffen lagen nur Analyseergebnisse für die GWM H1 für die Elemente Al, B, Br, Li, Rb und Sr vor, die jedoch mit Ausnahme von B (max. 0,74 mg/l) und Sr (max. 17 mg/l) Konzentrationen nahe bei den jeweiligen Bestimmungsgrenzen bzw. geogenen Hintergrundwerten aufweisen. Die aus den $\text{mmol}(\text{eq})/\text{l}$ berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen zwischen 0,2 bis 0,3, die Na/Cl-Verhältnisse um 0,6 und die Na/K-Verhältnisse zwischen ca. 16 und 30. Die molaren Cl/Br-Verhältnisse sind relativ hoch bei 1680 bzw. 2664.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 259 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

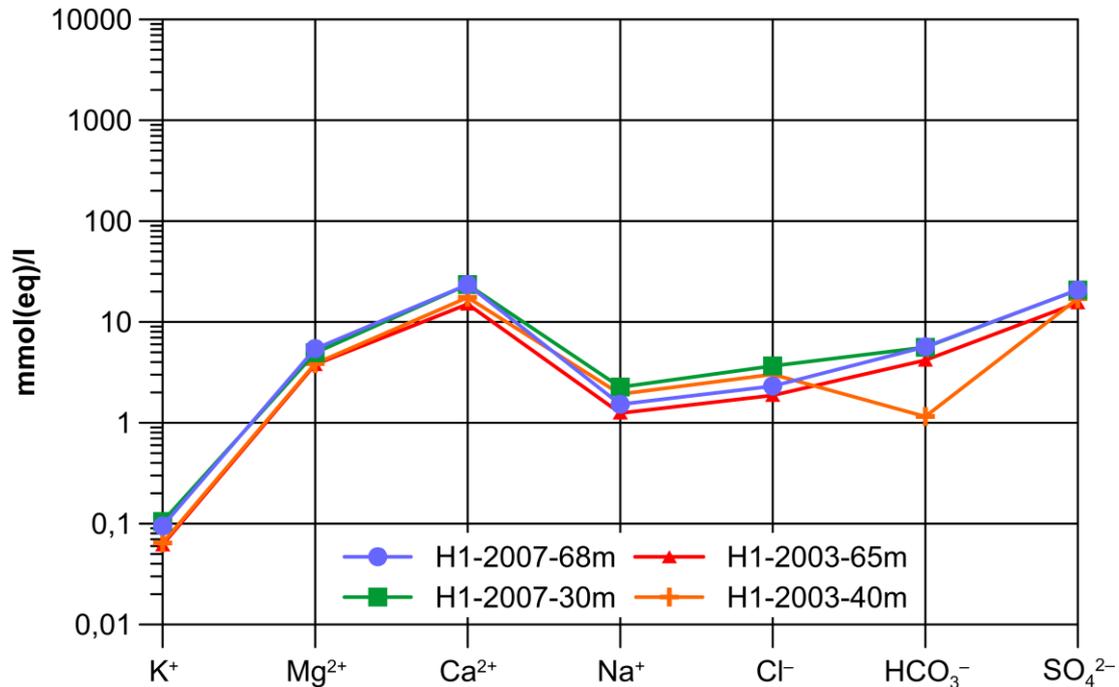


Abb. 8.5: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen in mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H1.

Im Vergleich mit den Proben vor 2002 aus den Jahren 1976 bis 1988 (Daten aus den GSF-Jahresberichten sowie aus [GSF 1994]), die eine plausible Ionenbilanz aufweisen, ergeben sich keine signifikanten Unterschiede in der hydrochemischen Charakteristik. Der berechnete TDS ist relativ konstant im Bereich der Minimal- und Maximalwerte von 830 mg/l resp. 2800 mg/l und ist somit vergleichbar zu den Werten aus dem Zeitraum 2002 bis 2011. Die Hauptionenkonzentrationen zeigen ebenfalls ein Brackwasser an, das zumeist vom Ca-SO₄-Typus ist. Nur in wenigen Proben führt ein leicht erhöhter Mg-Gehalt zu einer Typisierung als Mg-Ca-SO₄-Wasser bzw. ein leicht erhöhter HCO₃-Gehalt zur Einstufung als Ca-SO₄-HCO₃-Wasser. Eine systematische Veränderung der Wasserbeschaffenheit mit der Tiefenlage der Probennahme ist nicht festzustellen.

GWM H14 (*mu*, SW-Flanke)

Für die GWM H14 (Messpunkthöhe 148,6 mNN) liegen insgesamt 31 Analysendatensätze vor, davon drei aus den Jahren 2003, 2007 und 2010 (Tab. E.6 im Anhang) sowie 28 aus den Jahren 1976 bis 1996. Das Grundwasser in dieser GWM wurde von 2003 bis 2010 einheitlich in 47 m Tiefe unter dem Ansatzpunkt beprobt. Für die davorliegenden Probennahmekampagnen wurden auch Proben aus geringerer Tiefe genommen.

Alle drei in Tab. E.6 gezeigten Analysendatensätze aus dem Zeitraum 2002 bis 2010 weisen einen Ionenbilanzfehler von <5 % auf. Eine weitere Überprüfung der Analysendatensätze war mangels des im Labor bestimmten Lösungsrückstandes nur für den Datensatz aus dem Jahr 2010 möglich. Hier ist der berechnete Wert (2109 mg/l) deutlich geringer als der im Labor bestimmte Wert



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 260 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

(2850 mg/l) für den TDS-Gehalt. Somit lassen sich die Analysendaten für diese GWM unter Vorbehalt als plausibel einstufen.

Die vor Ort gemessenen physikalisch-chemischen Parameter Sauerstoffgehalt (nur ein Messwert von 10,61 mg/l) und Eh (ebenfalls nur ein Messwert von 229 mV) zeigen ein oxidierendes Milieu an. Der pH-Wert liegt mit Werten von 7,2 bis 7,5 im neutralen Bereich. Die LF weist Werte zwischen ca. 3100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 3730 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf. Die gemessene Dichte liegt bei 1,001 g/cm^3 .

Das Wasser der GWM H14 ist gering mineralisiert (TDS_{calc} zwischen 2109 mg/l und 2590 mg/l) und kann als gering mineralisiertes Brackwasser vom Mg-Ca-Cl-, Ca-Mg-Cl- SO_4 - bzw. Mg-Ca-Cl- SO_4 -Typ eingestuft werden. Die Verteilung der Hauptinhaltsstoffe ist im Schoeller-Diagramm (Abb. 8.6) gezeigt. Von den Begleitstoffen ist Nitrat nur in geringen Konzentrationen <5 mg/l vorhanden, und Ammonium ist ebenfalls nur in einer sehr geringen Konzentration von 0,28 mg/l nachgewiesen worden. Von den Spurenstoffen der Proben aus GWM H14 zeigen nur die Elemente B, Cd, Ni, Pb und Zn leicht erhöhte Konzentrationen im Vergleich mit den entsprechenden geogenen Hintergrundwerten. Deutlich erhöht sind dagegen die Konzentrationen von B (max. 0,71 mg/l), I (1,1 mg/l) und Sr (max. 30 mg/l). Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen zwischen 0,8 und 1,4, die Na/Cl-Verhältnisse zwischen 0,1 und 0,2 und die Na/K-Verhältnisse zwischen ca. 11 und 22. Die Cl/Br-Verhältnisse sind sehr unterschiedlich (für das Jahr 2007 Labor AUA: Cl/Br = 279 und für das Jahr 2010 Labor K-UTEC: Cl/Br = 1101), wobei der Br-Gehalt in der Analyse des AUA-Labors deutlich höher liegt (6,7 mg/l) als der entsprechende Wert von K-UTEC (2 mg/l), so dass von einer genetischen Interpretation basierend auf diesen Elementverhältnissen abgesehen wird.

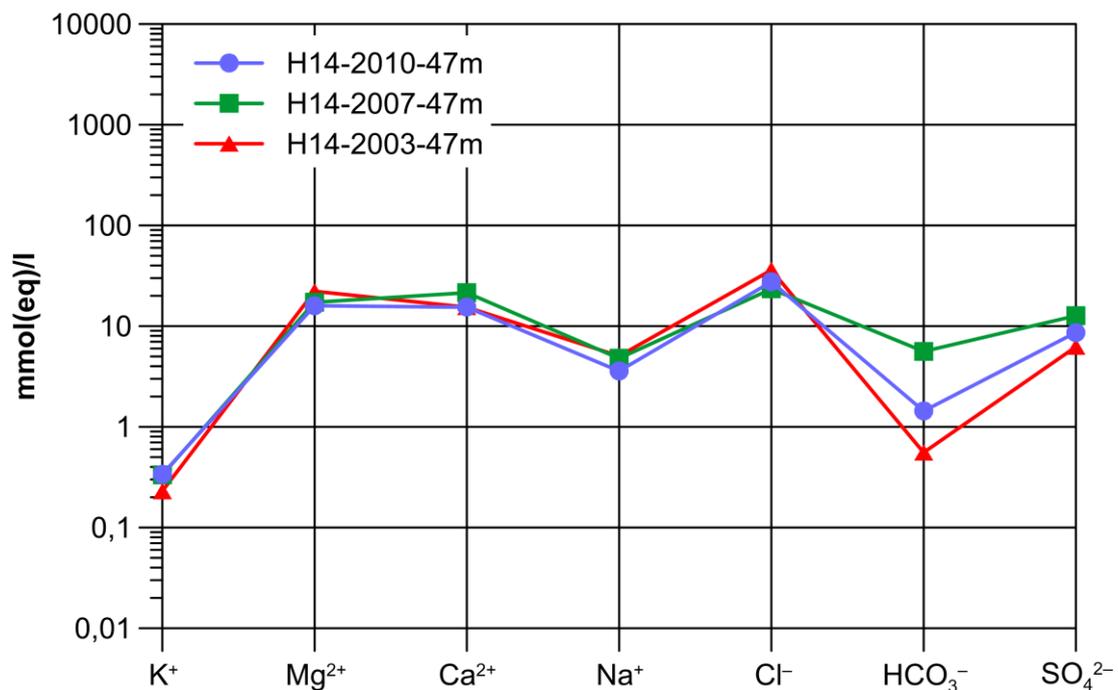


Abb. 8.6: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H14.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 261 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Im Vergleich mit den Proben vor 2002 aus den Jahren 1980 bis 1996 (Daten aus den GSF-Jahresberichten sowie aus [GSF 1994]), die eine plausible Ionenbilanz aufweisen, ergibt sich ein uneinheitliches Bild. Der berechnete TDS ist für die meisten Proben im Bereich der Minimal- und Maximalwerte von 924 mg/l resp. 2420 mg/l und ist somit vergleichbar mit den Werten aus dem Zeitraum 2002 bis 2011, wobei ein schwach ansteigender Trend mit der Tiefe erkennbar ist. Einige Proben, die nur aus den ersten Jahren der Beprobung und aus großer Tiefe stammen, weisen allerdings einen deutlich höheren TDS_{calc} von ca. 5500 mg/l bis max. ca. 16 200 mg/l auf. Die Hauptionenkonzentrationen zeigen, ähnlich wie bei den Proben aus den Jahren 2002 bis 2011, ein Brackwasser vom Mg-Ca-Cl- bzw. Mg-Ca-Cl-SO₄-Typus an, wobei einige Proben bedingt durch einen höheren Na-Gehalt auch vom Na-Ca-Cl-SO₄-Typus sind. Ebenso führt ein hoher Karbonat-Anteil bei einigen Proben zu einer Einstufung als Mg-Ca-SO₄-HCO₃-Wasser.

GWM H23 (*mu*, SW-Flanke)

Für die GWM H23 (Messpunkthöhe 225,36 mNN) liegen insgesamt 45 Analysendatensätze vor, davon fünf aus den Jahren 2003 bis 2010 (Tab. E.7 im Anhang) und 40 aus den Jahren 1986 bis 1989. Während des Zeitraums 2003 bis 2010 wurde ausschließlich in Tiefen von 80 m und 150 m beprobt, in den Jahren davor auch in weiteren Tiefenbereichen. Bei der Probennahmekampagne 2007 wurden auch in dieser GWM ein Probensatz für das Labor K-UTEC (H23-2007a-150m) und einer für das Labor AUA (H23-2007b-150m) genommen, um einen Vergleich beider Labore durchzuführen. Dabei ergibt sich allerdings eine zeitliche Differenz von 14 Tagen für die jeweiligen Probennahmen, die bei dem Vergleich beider Analysen zu berücksichtigen ist.

Vier der in Tab. E.7 gezeigten Analysendatensätze für die GWM H23 weisen einen Ionenbilanzfehler von <5 % auf, nur eine Probe (H23-2003-150m) hat einen Ionenbilanzfehler von 9,4 % (Kationenüberschuss). Der Vergleich des berechneten TDS für die beiden Proben aus dem Jahr 2010 zeigt deutliche Unterschiede zu den im Labor bestimmten Werten (>60 %). Somit werden bis auf eine Probe (H23-2003-150m) alle Analysendatensätze unter Vorbehalt als plausibel eingestuft.

Die vor Ort bestimmten physikalisch-chemischen Parameter Sauerstoffgehalt (ca. 3 mg/l bis max. 13 mg/l) und Eh (426 mV bis 442 mV) zeigen ein oxidierendes Milieu an. Der pH-Wert liegt im neutralen Bereich einheitlich bei 7,3. Die LF ist mit 900 µS/cm bis 1044 µS/cm gering. Die vor Ort bestimmte Dichte entspricht mit 1,000 g/cm³ der von Süßwasser. Auffällig ist hier ein im Labor bestimmter hoher DOC-Wert von 9,48 mg/l bzw. 17,7 mg/l für die beiden Proben aus dem Jahr 2010.

Durch die sehr geringe Mineralisierung (TDS_{calc} zwischen 728 mg/l und 1008 mg/l) ist das Grundwasser der GWM H23 als Süßwasser einzustufen. Die Verteilung der Hauptinhaltsstoffe ist im Schoeller-Diagramm (Abb. 8.7) gezeigt. Das Wasser aus dem oberen Bereich der GWM (80 m) ist möglicherweise etwas geringer mineralisiert als das Wasser aus der Tiefe von 150 m. Allerdings ist der obere Abschnitt der GWM H23 nur durch einen Analysendatensatz (Tiefe: 80 m) vertreten. Aufgrund der Zusammensetzung der Hauptinhaltsstoffe lassen sich die Wässer als vom Ca-Mg-SO₄- bzw. Ca-Mg-HCO₃-SO₄-Typus klassifizieren.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 262 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

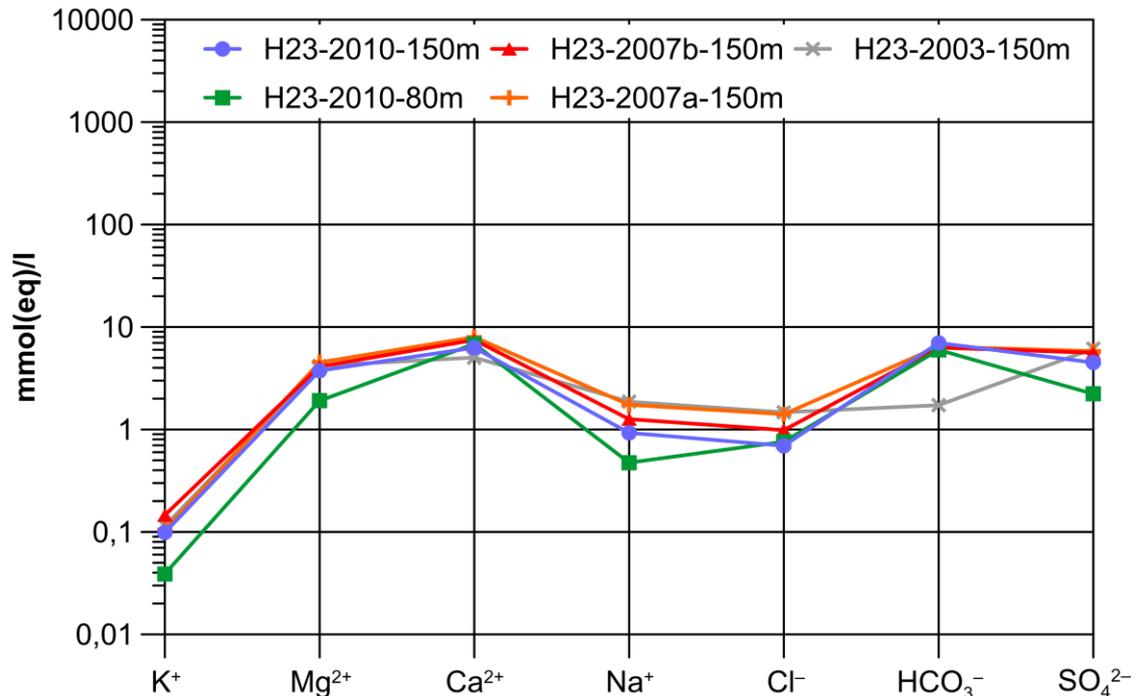


Abb. 8.7: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H23. Graue Probensymbole kennzeichnen Analysendatensätze mit hohen Ionenbilanzfehlern zwischen 5 % und 10 % die als fragwürdig eingestuft werden.

Bei den Begleitstoffen liegen die Nitratkonzentrationen für die meisten Proben unter 3 mg/l, nur für die Probe H23-2010-80m ergibt sich eine deutlich höhere Konzentration von 37 mg/l. Die Spurenelementanalysen, die an den beiden Wasserproben von 2010 bestimmt wurden, zeigen für die meisten Elemente keine Werte, die signifikant über den geogenen Hintergrundwerten liegen. Eine Ausnahme bilden hier F (max. 1,2 mg/l) und Sr (max. 15 mg/l). Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen zwischen 0,3 und 0,8, die Na/Cl-Verhältnisse um etwa 0,6 bis 1,3 und die Na/K-Verhältnisse zwischen 9 und 17. Das Cl/Br-Verhältnis (nur für Probe H23-2007b-150m bestimmt) ist bei 564.

Im Vergleich mit den Proben vor 2002 aus den Jahren 1986 bis 1989 (Daten aus den GSF-Jahresberichten sowie aus [GSF 1994]), die eine plausible Ionenbilanz aufweisen, ergeben sich keine signifikanten Unterschiede in der hydrochemischen Charakteristik. Der berechnete TDS-Gehalt ist relativ konstant im Bereich der Minimal- und Maximalwerte von 660 mg/l resp. 985 mg/l und ist somit vergleichbar mit den Werten aus dem Zeitraum 2002 bis 2011. Die Hauptionenkonzentrationen zeigen ebenfalls ein Süßwasser vom Mg-Ca-SO₄-HCO₃-Typus an. Eine systematische Veränderung der Wasserbeschaffenheit mit der Tiefe der Probennahme oder der Zeit ist nicht festzustellen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 263 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

GWM P16 (*mu*, SW-Flanke)

Für die GWM P16 (Messpunkthöhe 201,73 mNN) liegen insgesamt 14 Analysendatensätze vor. Davon stammen sieben aus den Jahren 2003 bis 2010 (Tab. E.8 im Anhang) und sieben aus den Jahren 1986 bis 1990. Generell wurde diese GWM während der Jahre 2002 bis 2010 in unterschiedlichen Tiefen von 69 m bis max. 146 m beprobt.

Die Ionenbilanzen der in Tab. E.8 dargestellten Analysendatensätze der GWM P16 zeigen jeweils einen sehr hohen Anionenüberschuss. Diese führt bei den Proben zu einem Ionenbilanzfehler von 25 % bis zu maximal 35 %. Nur eine Probe (P16-2010-69m) weist einen hohen Kationenüberschuss auf (Ionenbilanzfehler 21,5 %). Ein Vergleich mit den Analysendaten von vor 2002, die einen deutlich geringeren Ionenbilanzfehler von zumeist <10 % aufweisen zeigt, dass der Anionenüberschuss höchstwahrscheinlich i.W. aus einer Überbestimmung des HCO_3^- resultiert. Insgesamt werden dementsprechend alle Analysendatensätze aufgrund des hohen Ionenbilanzfehlers als fehlerhaft eingestuft. Die nachfolgende Beschreibung der GW-Beschaffenheit erfolgt unter Vorbehalt, da ansonsten für diese Messstelle keine akzeptablen Analysendaten aus dem Zeitraum 2002 bis 2011 vorliegen.

In Bezug auf die vor Ort bestimmten physikalisch-chemischen Parameter, liegen die pH-Werte von 7,0 und 7,4 durchgehend im neutralen Bereich. Der Sauerstoffgehalt (ein Wert von 5,65 mg/l) sowie der ebenfalls nur für eine Probe bestimmte Eh-Wert von 494 mV, zeigen jeweils ein oxidierendes Milieu an. Die vor Ort und im Labor bestimmte LF liegt im Bereich von 922 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis 1210 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und die vor Ort bestimmte Dichte bei 1,000 g/cm^3 . Auffällig sind die hohen Temperaturen von 19,9 °C bis 23,4 °C bei den Proben aus den Jahren 2003 und 2004. Möglicherweise wurde hier versehentlich der Wert für die Temperatur im Labor eingetragen.

Mit den aus den Ionenkonzentrationen berechneten TDS-Werten im Bereich von zumeist ca. 700 mg/l bis 1100 mg/l lässt sich das Wasser der GWM P16 als Süßwasser einstufen. Aufgrund der Ionenverteilung ist es zumeist vom Ca- HCO_3 -Typus, mit Beimengungen von Mg, Na oder SO_4 . Nur eine Probe aus dem Jahr 2004 (Tiefe 69 m) zeigt einen hohen Mg-Anteil und ist deshalb vom Mg- HCO_3 -Typ; bei dieser Probe liegt aber möglicherweise ein Vertauschen der Analysenwerte von Ca und Mg vor. Die Verteilung der Hauptinhaltsstoffe ist im Schoeller-Diagramm (Abb. 8.8) gezeigt.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 264 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

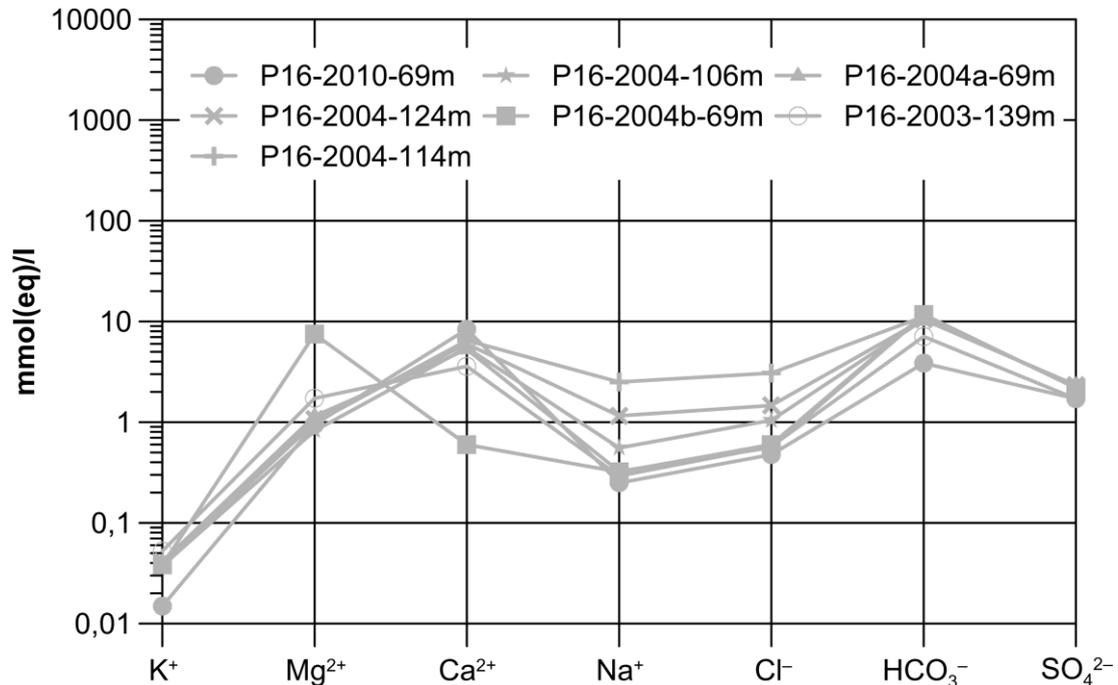


Abb. 8.8: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM P16. Die hellgrauen Probensymbole und Linien zeigen an, dass für diese GWM aus dem betrachteten Zeitraum von 2002 bis 2011 nur Proben mit einem Ionenbilanzfehler >10 % vorlagen, die als fehlerhaft eingestuft werden (siehe Text).

In Bezug auf die Begleitstoffe sind die Nitratkonzentrationen zumeist gering (max. 15 mg/l). Der Ammoniumgehalt ist ebenfalls sehr niedrig (<1 mg/l). Die Konzentrationen der Spurenstoffe lagen überwiegend im Bereich der geogenen Hintergrundwerte. Lediglich Sr ist gegenüber den geogenen Hintergrundwerten erhöht. Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen (unter Vorbehalt) bei 0,1 bis 0,2 (zwei Proben lagen mit 0,5 und 12,5 deutlich höher), die Na/Cl-Verhältnisse bei 0,5 bis 0,8 und die Na/K-Verhältnisse bei 6 bis 65. Das Cl/Br-Verhältnis im Bereich von 28 und 162 (nur für zwei Proben bestimmt) ist ungewöhnlich niedrig.

Während der Probennahmekampagne im Mai 2010 wurden mittels organoleptischer Ansprache erhebliche Konzentrationen des rötlichen Farbstoffes Eosin in der GWM P16 festgestellt, der am 06.09.1990 bei den Markierungsversuchen an der Südwestflanke der Asse-Struktur in dieser Messstelle eingegeben wurde [GSF 1994]. Dies deutet (ähnlich wie bei der GWM H6) auf eine sehr geringe Durchströmung der Messstelle hin (vgl. Kap. 8.4.2).

Im Vergleich mit den Proben vor 2002 aus den Jahren 1986 bis 1990 (Daten aus den GSF-Jahresberichten sowie aus [GSF 1994]), die eine plausible Ionenbilanz aufweisen, ergibt sich bedingt durch den deutlich höheren Mg-Gehalt der in den damaligen Jahren genommenen Proben eine z.T. etwas veränderte hydrochemische Charakteristik. Der berechnete TDS ist relativ konstant im Bereich der Minimal- und Maximalwerte von 715 mg/l resp. 804 mg/l und ist somit etwas geringer als der Wertebereich aus dem Zeitraum 2002 bis 2011. Die Hauptionenkonzentrationen zeigen



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 265 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

ein Süßwasser vom Ca-Mg-HCO₃-Typus an. Z.T. höhere Na-Gehalte führen bei manchen Proben auch zu einer Einstufung als Ca-Na-Mg-HCO₃-Wasser. Eine systematische Veränderung der Wasserbeschaffenheit mit der Tiefe der Probennahme ist aus den hydrochemischen Daten nicht abzuleiten.

GWM PN1 (FP: *mu3*, TP: *mu1*; SW-Flanke)

Für die im Jahre 2008 errichtete GWM PN1 (Messpunkthöhe 176,95 mNN) liegt nur jeweils ein Analysendatensatz für den Flach- (FP) und einer für den Tiefpegel (TP) aus dem Jahr 2010 vor (Tab. E.9 im Anhang), die entsprechend bei 40,5 m bzw. 185 m Tiefe beprobt wurden.

Der in Tab. E.9 gezeigte Ionenbilanzfehler der Analysendatensätze ist mit 6,1 % (FP) und mit 5,3 % (TP) im als fragwürdig eingestuften Bereich, allerdings sind die Abweichungen der gemessenen und berechneten Werte für den Gesamtlösungsrückstand jeweils sehr gering. Weiterhin ist anzumerken, dass diese Messstelle erst im Jahr 2008 errichtet wurde und somit potentiell noch eine Kontamination mit der verwendeten Bohrspülung (Süßwasser) aufweisen kann. Zudem hat die in Kap. 4.2.2 dargestellte Auswertung der Grundwasserganglinien für diese Messstelle deutliche Hinweise für die direkte Zusickerung von Oberflächenwasser in das Standrohr ergeben, die ebenfalls bei der Betrachtung der GW-Beschaffenheit zu berücksichtigen ist.

Die vor Ort bestimmten pH-Werte liegen mit 7,5 (FP) und 7,4 (TP) im neutralen Bereich. Die Sauerstoffgehalte liegen mit 8,31 mg/l bzw. 12,15 mg/l relativ hoch und zeigen zusammen mit den vor Ort bestimmten Eh-Werten von 478 mV bzw. 456 mV ein oxidierendes Milieu an. Die LF liegt bei 3300 µS/cm bzw. 2840 µS/cm. Die Dichte liegt jeweils sehr nahe bei der Dichte von Süßwasser (1,002 g/cm³ bzw. 1,001 g/cm³).

Die aus den Ionenkonzentrationen berechneten TDS-Gehalte zeigen Werte zwischen 3080 mg/l (FP) und 2689 mg/l (TP) und somit eine etwas geringere Mineralisierung für den Tiefpegel an. Entsprechend der Ionenkonzentrationen kann das Wasser der GWM PN1 sowohl für den Flach- als auch für den Tiefpegel als Brackwasser vom Ca-SO₄-Typ eingestuft werden. Die Verteilung der Hauptinhaltsstoffe ist im Schoeller-Diagramm (Abb. 8.9) gezeigt.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 266 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

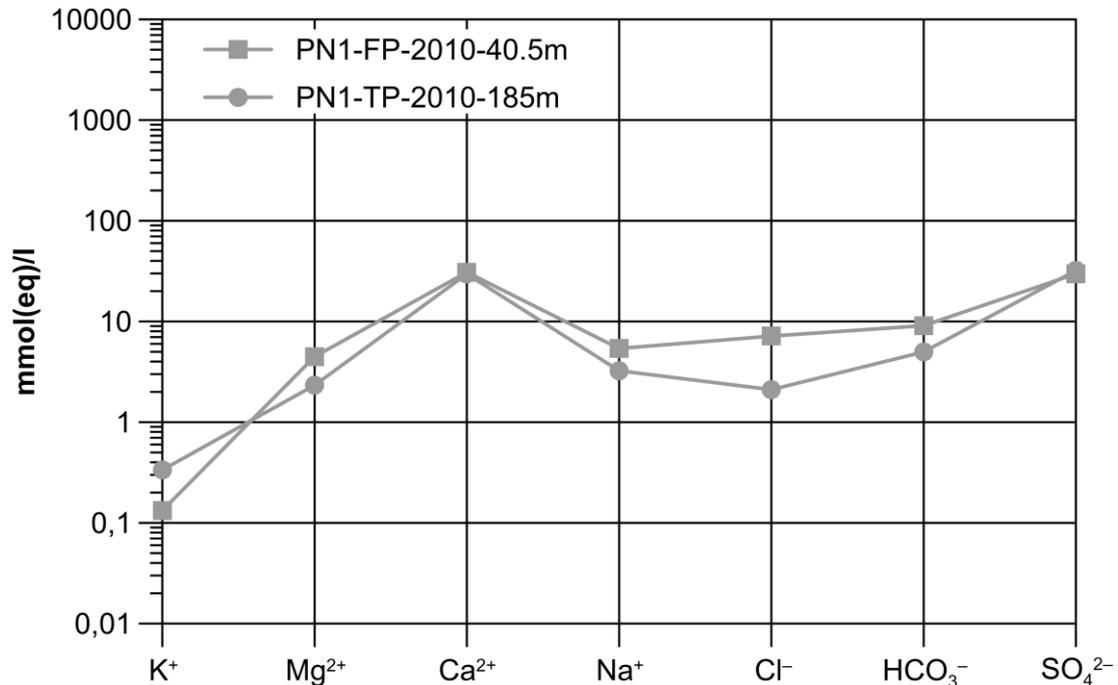


Abb. 8.9: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in der GWM PN1-FP und PN1-TP. Die dunkelgrauen Probensymbole und Linien kennzeichnen Analysendatensätze mit hohen Ionenbilanzfehlern zwischen 5 und 10 % die als fragwürdig eingestuft werden.

Die Nitratkonzentrationen sind bei 8,4 mg/l (FP) und 27 mg/l (TP), Ammonium wurde nur für den Flachpegel nachgewiesen, lag dort aber nur in sehr geringen Konzentration von 0,15 mg/l vor. Von den Spurenstoffen haben B, Br, F und Sr erhöhte Konzentrationen (bis zu 1,3 mg/l B, 9 mg/l Br, bis zu 0,78 mg/l F und bis zu 14 mg/l Sr), während die übrigen Spurenstoffe zumeist im Bereich der Nachweisgrenze bzw. im Bereich der geogenen Hintergrundwerte liegen. Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen bei 0,1 (FP und TP), die Na/Cl-Verhältnisse bei 0,8 (FP) und 1,5 (TP) und die Na/K-Verhältnisse bei 41 (FP) und 10 (TP). Das Cl/Br-Verhältnis von 19 (nur für eine Probe aus dem TP bestimmt) ist ungewöhnlich niedrig.

GWM PN2 (FP: mm, TP: mu1; SW-Flanke)

Für die im Jahre 2009 fertig gestellte GWM PN2 (Messpunkthöhe 207,37 mNN) liegt analog zur GWM PN1 nur jeweils ein Analysendatensatz für den Flach- und für den Tiefpegel aus dem Jahr 2010 vor (Tab. E.9 im Anhang). Die Beprobungstiefe liegt entsprechend bei 43,7 m bzw. 230 m.

Der in Tab. E.9 gezeigte Ionenbilanzfehler ist nur für den Analysendatensatz aus dem Flachpegel mit 3,1 % akzeptabel (Anionenüberschuss), während er für die Probe aus dem Tiefpegel bei 10,2 % liegt und damit als fehlerhaft eingestuft wird. Dahingegen sind die Abweichungen der gemessenen und berechneten Werte für den Gesamtlösungsrückstand sehr gering. Somit liegen für die GWM ein als plausibel erachteter Analysendatensatz für den Flachpegel und ein knapp als fehlerhaft eingestuftes Analysendatensatz für den Tiefpegel vor, der hier unter Vorbehalt dargestellt



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 267 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

wird, da keine weiteren Analysendatensätze für den TP dieser GWM vorliegen. Weiterhin ist analog zur GWM PN1 anzumerken, dass diese Messstelle erst im Jahr 2009 fertig gestellt wurde und somit potentiell noch eine Kontamination mit der verwendeten Bohrspülung (Süßwasser) aufweisen kann.

Die vor Ort bestimmten pH-Werte liegen mit 8,1 (FP) und 7,5 (TP) im neutralen Bereich. Die Sauerstoffgehalte sind mit Werten von 6,92 mg/l bzw. 10,21 mg/l relativ hoch und zeigen zusammen mit den vor Ort bestimmten Eh-Werten von 404 mV bzw. 398 mV ein oxidierendes Milieu an. Die LF liegt bei 2780 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bzw. 4110 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Dichte liegt sehr nahe bei der Dichte von Süßwasser (1,002 g/cm^3 bzw. 1,003 g/cm^3).

Die aus den Ionenkonzentrationen berechneten TDS-Gehalte liegen zwischen 2532 mg/l (FP) und 3664 mg/l (TP) und zeigen eine geringe, wenngleich für den Tiefpegel etwas höhere Mineralisierung an. Entsprechend der Ionenkonzentrationen kann das Wasser der GWM PN2 als Brackwasser vom Ca-SO₄-Typ (FP) bzw. Ca-Na-SO₄ (TP) eingestuft werden. Die Verteilung der Hauptinhaltsstoffe ist im Schoeller-Diagramm (Abb. 8.10) gezeigt.

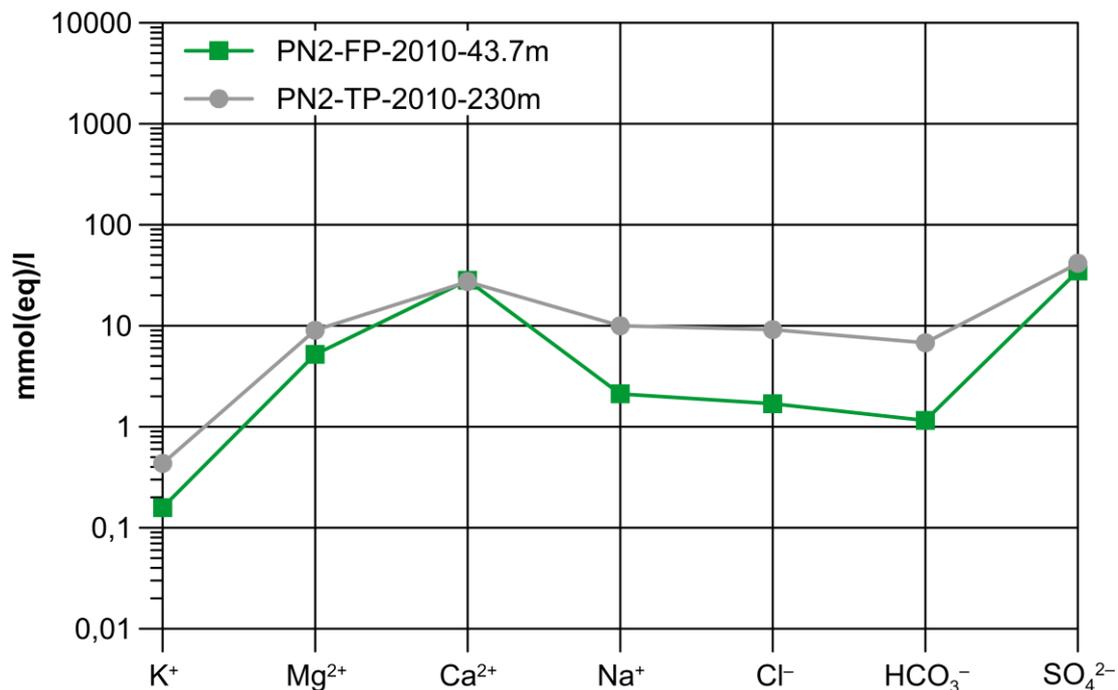


Abb. 8.10: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in der GWM PN2-FP und PN2-TP. Die dunkelgrauen Probensymbole und Linie kennzeichnen den Analysendatensatz mit hohem Ionenbilanzfehlern >10 %, der als fehlerhaft eingestuft wird (siehe Text).

Die Nitratkonzentrationen liegen bei 22 mg/l (FP) und 1,4 mg/l (TP), Ammonium wurde nicht nachgewiesen. Von den Spurenstoffen zeigen B, Br, F und Sr erhöhte Konzentrationen (bis zu 1,34 mg/l B, 2 mg/l Br, bis zu 1,65 mg/l F und bis zu 11,9 mg/l Sr), während die übrigen Spurenstoffen im Bereich der Nachweisgrenzen bzw. der geogenen Hintergrundwerte liegen. Die aus den



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 268 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen bei 0,2 (TP) und 0,3 (FP), die Na/Cl-Verhältnisse bei 1,1 (FP) und 1,2 (TP) und die Na/K-Verhältnisse bei 23 (FP) und 24 (TP). Das Cl/Br-Verhältnis (nur für eine Probe aus dem FP bestimmt) von 68 ist, ähnlich wie bei der GWM PN1, ungewöhnlich niedrig.

GWM R5 (*mu*, SW-Flanke)

Für die tiefe GWM R5 (Messpunkthöhe 172,64 mNN) liegen insgesamt 65 Analysendatensätze vor. Davon stammen acht aus den Jahren 2002 bis 2011 (Tab. E.10 im Anhang) und 57 aus den Jahren 1983 bis 2001. Beprobt wurde diese GWM überwiegend in einer Tiefe von 888 m, es liegen aber auch zwei Proben aus einer Tiefe von 830 m vor.

Alle in Tab. E.10 gezeigten acht Proben aus der GWM R5 aus dem Zeitraum 2002 bis 2011 weisen einen geringen Ionenbilanzfehler von <5 % auf und werden somit als akzeptabel eingestuft. Da nur für eine Probe aus dem Jahr 2010 ein gemessener Wert für den Gesamtlösungsrückstand vorliegt (der eine gute Übereinstimmung mit dem berechneten Wert aufweist), ist eine weitere Plausibilitätsprüfung mittels dieses Parameters für die übrigen Proben nicht möglich.

Die vor Ort bestimmten pH-Werte liegen zumeist im sauren Bereich (minimaler pH-Wert von 4,2) und erreichen nur selten den neutralen Bereich (max. 6,8). Die Sauerstoffgehalte, die vor Ort nur für zwei Proben 2010 bestimmt wurden, liegen mit 7,55 mg/l und 24 mg/l relativ hoch und sind aufgrund der großen Probennahmetiefe möglicherweise auf den hohen hydrostatischen Druck zurückzuführen. Insgesamt sind die hohen Sauerstoffgehalte mit den hohen Fe²⁺ und Mn-Konzentrationen (siehe unten) nicht vereinbar. Im Gegensatz zu den Sauerstoffgehalten, die ein oxidierendes Milieu erwarten lassen, sind die vor Ort bestimmten Eh-Werte mit 64 bis 143 relativ niedrig und liegen im Übergangsbereich zwischen oxidierendem und reduzierendem Milieu, nur der Wert aus dem Jahr 2010 zeigt mit 335 mV ein oxidierendes Milieu an. Die vor Ort nur an drei Proben bestimmte LF liegt bei Werten von 125 000 µS/cm bzw. 250 000 µS/cm und für eine Probe wurde ein Wert von 800 µS/cm angegeben, der offensichtlich ein Ablese- oder Übertragungsfehler darstellt, da die im Labor bestimmte LF (222 000 µS/cm) in der üblichen Größenordnung der Proben dieser GWM liegt. Die vor Ort bestimmte Dichte liegt im Bereich von 1,187 g/cm³ bis 1,216 g/cm³.

Die aus den Ionenkonzentrationen berechneten TDS-Gehalte liegen zwischen ca. 260 000 mg/l und 337 000 mg/l und entsprechend kann das Wasser der GWM R5 als Sole vom Na-Cl-Typ eingestuft werden. Die Verteilung der Hauptinhaltsstoffe ist im Schoeller-Diagramm (Abb. 8.11) gezeigt.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 269 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

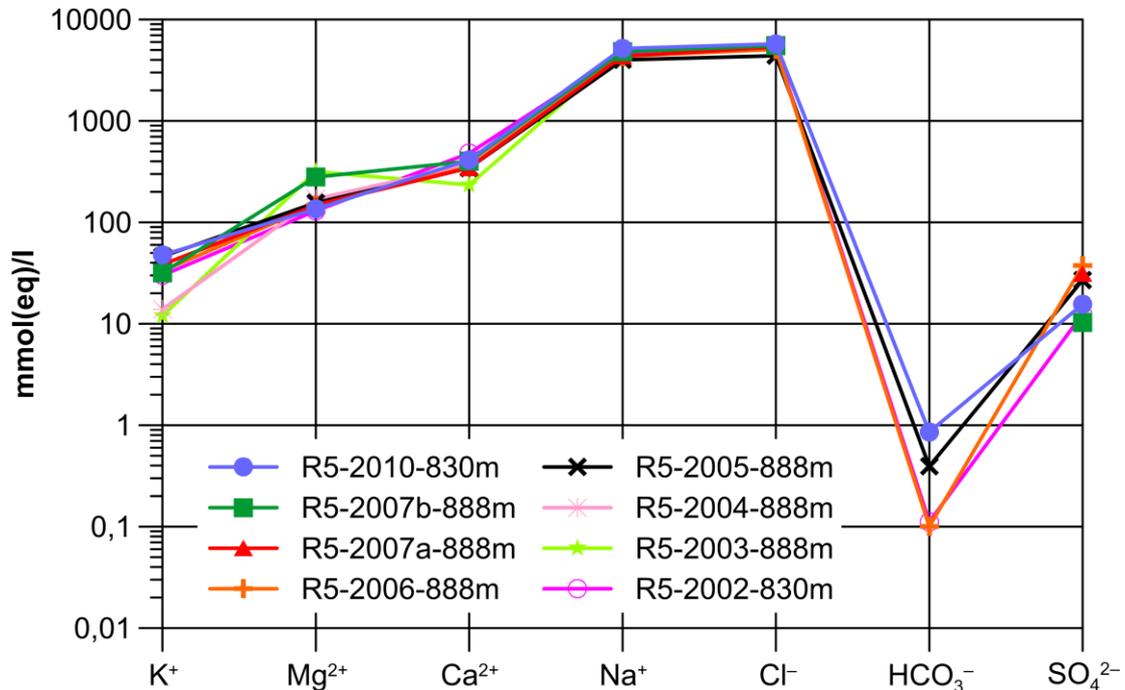


Abb. 8.11: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM R5.

Bei den Begleitstoffen sind insbesondere die hohen Werte für Fe(II) (bis max. 65,3 mg/l) und Mn (bis 8,2 mg/l) auffällig und indikativ für gering oxidierende bis reduzierende Bedingungen. Die Nitratkonzentrationen liegen generell unter 4,5 mg/l. Ein Nitratwert von 120 mg/l aus dem Jahr 2006 liegt deutlich darüber und ist wahrscheinlich ein Ausreißer (siehe auch Text zu GWM R6). Im Gegensatz dazu sind die Ammoniumkonzentrationen mit bis zu 54 mg/l sehr hoch. Von den Spurenstoffen haben B, Br, Li und Sr generell sehr hohe Konzentrationen (bis zu 17,1 mg/l für B, bis zu 1300 mg/l für Br 27,2 mg/l für Li, 181 mg/l für Sr), während die übrigen Spurenstoffe, die für die GWM R5 v.a. in den Jahren 2007 und 2010 bestimmt wurden, zumeist im Bereich der Nachweisgrenze liegen. Mit bis zu 2,84 mg/l ist hier nur die Zn-Konzentration auffällig hoch. Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen zumeist zwischen 0,4 und 1,3, die Na/Cl-Verhältnisse um etwa 0,8 bis 0,9 und die Na/K-Verhältnisse zwischen ca. 87 und 406. Das Cl/Br-Verhältnis liegt zwischen 312 und 566.

Im Vergleich der dargestellten Analysendaten mit Daten aus den Jahren 1983 bis 2001, die eine plausible Ionenbilanz aufweisen (Daten aus den GSF-Jahresberichten sowie aus [GSF 1994]), ergeben sich Unterschiede in der hydrochemischen Charakteristik v.a. in Bezug auf den TDS. Die Proben aus dem oberen Bereich der Wassersäule in GWM R5 (nur Proben aus einer Tiefe von etwa 100 m) sind seit dem Messstellenbau (1983) generell gering mineralisiert ($TDS_{calc} < 5000$ mg/l) und können als Brackwasser eingestuft werden. Dieses Ergebnis stimmt gut mit den Resultaten der geophysikalischen Dichte- und Leitfähigkeitslogs von 2004 überein (Kap. 4.1.4). Der berechnete TDS für die Proben aus dem unteren Bereich der Wassersäule (730 m bis 890 m Tiefe) zeigt seit 1983 bis heute eine leicht ansteigende Tendenz von Werten im Bereich von 190 000 mg/l bis 260 000 mg/l bis hin zu Werten, die generell über 300 000 mg/l liegen. Die Vertei-



Bundesaamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 270 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

lung der Hauptionenkonzentrationen der aus einer Tiefe von mehr als 500 m genommenen Proben ist jedoch sehr einheitlich und zeigt ausnahmslos Sole vom Na-Cl-Typus an.

GWM R6 (*mu*, SW-Flanke)

Für die GWM R6 (Messpunkthöhe 193,32 mNN) liegen insgesamt 90 Analysendatensätze vor. Davon stammen sechs aus den Jahren 2002 bis 2005 (Tab. E.11 im Anhang) und 84 aus den Jahren 1985 bis 2001. Nach dem Jahr 2005 wurde diese Messstelle aufgrund einer bereits im Zeitraum 1993 bis 1995 entstandenen Beschädigung der Verrohrung in ca. 476 m Tiefe nicht mehr beprobt. Die Beprobungstiefe lag ab 2002 zumeist bei 470 m, es liegen aber auch Proben aus 200 m und 410 m Tiefe vor. In den Jahren vor 1993 gab es auch Proben aus einer größeren Tiefenlage.

Alle in Tab. E.11 gezeigten Analysendatensätze der GWM R6 weisen einen geringen Ionenbilanzfehler <5 % auf und werden somit als akzeptabel eingestuft. Da ähnlich wie bei der GWM R5 nur für eine Probe ein im Labor gemessener Wert für den Gesamtlösungsrückstand vorlag (der ca. 25% unter dem berechneten Lösungsrückstand liegt), ist eine weitere Plausibilitätsprüfung mittels dieses Parameters für die übrigen Proben nicht möglich.

Die vor Ort bestimmten pH-Werte liegen durchgehend im schwach sauren bis neutralen Bereich (5,7 bis 7,4). Die vor Ort bestimmten Eh-Werte sind mit 9 mV bis 117 mV (ein Wert bei 350 mV) relativ niedrig und liegen im Übergangsbereich zwischen oxidierendem und reduzierendem Milieu. Die vor Ort nur an drei Proben bestimmte LF liegt bei Werten von 188 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis 224 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die vor Ort bestimmte Dichte liegt im Bereich von 1,115 g/cm^3 bis 1,163 g/cm^3 .

Die aus den Ionenkonzentrationen berechneten TDS-Gehalte liegen zwischen ca. 170 000 mg/l und 250 000 mg/l und zeigen eine starke Mineralisierung an. Entsprechend der Ionenkonzentrationen kann das Wasser der GWM R6 als Sole vom Na-Cl-Typ eingestuft werden. Die Verteilung der Hauptinhaltsstoffe ist im Schoeller-Diagramm (Abb. 8.12) gezeigt. Die Probe aus dem Jahr 2004 weicht deutlich von den anderen Proben ab. Der Grund für diese Abweichung ist unklar.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 271 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

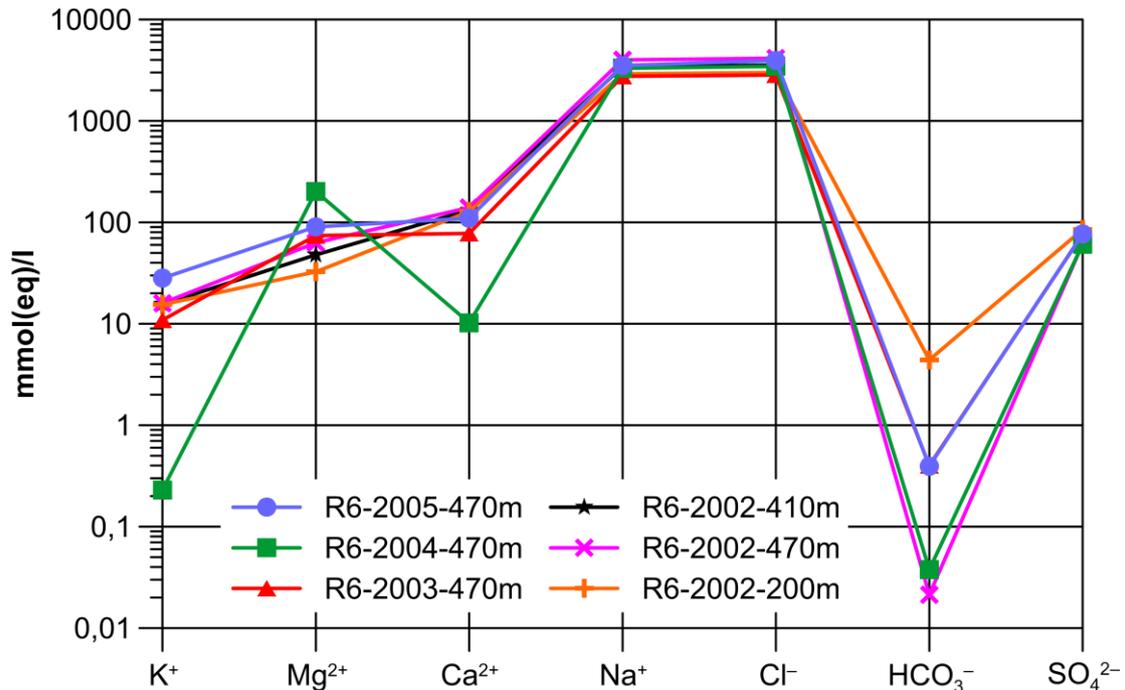


Abb. 8.12: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM R6.

In Bezug auf die Begleitstoffe, liegen die Nitratkonzentrationen zumeist deutlich unter 1 mg/l. Im Gegensatz dazu sind die Ammoniumkonzentrationen von zwei Proben mit 15,4 mg/l und 23 mg/l hoch. Von den Spurenstoffen wurden nur die Konzentrationen von Li, Sr, Rb, Pb, B, Br und Al gemessen. Von diesen Elementen haben B, Br und Li generell sehr hohe Konzentrationen (bis zu 8,5 mg/l B, 320 mg/l für Br und 13,9 mg/l für Li), während die Konzentrationen der übrigen Spurenstoffe im Bereich der Nachweisgrenze liegen. Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen zumeist zwischen 0,3 und 1,0 (ein Wert aus dem Jahr 2004 liegt bei ungewöhnlich hohen 19,7), die Na/Cl-Verhältnisse um etwa 0,9 bis 1,0, die Na/K-Verhältnisse zwischen ca. 125 und 253 (hier liegt wiederum der Wert aus dem Jahr 2004 bei einem sehr hohen Verhältnis von 14 330) und das Cl/Br-Verhältnis zwischen 986 und 1295.

Im Vergleich der dargestellten Analysendaten mit Daten aus den Jahren 1988 bis 2001, die eine plausible Ionenbilanz aufweisen (Daten aus den GSF-Jahresberichten sowie aus [GSF 1994]), ergeben sich Unterschiede in der hydrochemischen Charakteristik v.a. in Bezug auf den TDS. Der berechnete TDS ergibt eine breite Streuung zwischen Werten um 2000 mg/l für Proben aus einer Tiefe von 650 m (1985) und Werten von 180 000 mg/l aus einer Tiefe von 550 m (1989), die keine konsistente Zunahme der Mineralisierung mit der Tiefe anzeigen, und durch ein mehrfaches Abpumpen der Süßwassersäule sowie Durchmischung der Wassersäule erklärt werden können. Eine Stabilisierung der Mineralisierung auf einem Wert im Bereich von 200 000 mg/l bis 250 000 mg/l für das Tiefenintervall von 480 m bis 510 m, ist erst zu Beginn der 1990er-Jahre zu beobachten. Die Hauptionenkonzentrationen der aus dieser Tiefenlage genommenen Proben sind jedoch sehr einheitlich und zeigen durchgehend Sole vom Na-Cl-Typus an.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 272 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

GWM R7 (*mu*, SW-Flanke)

Für die GWM R7 (Messpunkthöhe 181,32 mNN) liegen insgesamt 62 Analysendatensätze vor, davon stammen acht aus den Jahren 2002 bis 2011 (Tab. E.12 im Anhang) und 54 aus den Jahren 1986 bis 2001. In den Jahren 2002 bis 2011 wurde in einer einheitlichen Tiefe von 830 m beprobt. In den Jahren davor wurden auch Proben aus geringeren Tiefenbereichen genommen.

Die in Tab. E.12 gezeigten Ionenbilanzen von fünf Proben aus dem Zeitraum 2002 bis 2011 weisen einen Fehler <5 % auf, und zwei Proben zeigen einen Ionenbilanzfehler zwischen 5 und 10 %. Nur eine Probe (R7-2006-830m) liegt über 10 % und wurde dementsprechend als fehlerhaft eingestuft. Da ähnlich wie bei den GWM R5 und R6 nur für eine Probe aus dem Jahr 2010 ein gemessener Wert für den Gesamtlösungsrückstand vorlag (der eine relativ gute Übereinstimmung mit dem berechneten Wert aufweist), ist eine weitere Plausibilitätsprüfung mittels dieses Parameters für die übrigen Proben nicht möglich.

Die vor Ort bestimmten pH-Werte liegen durchgehend im schwach alkalischen Bereich (8,3 bis 8,8). Die Sauerstoffgehalte, die nur für zwei Proben 2010 bestimmt wurden, liegen mit 11,25 mg/l und 11,67 mg/l relativ hoch (wahrscheinlich durch den hohen hydrostatischen Druck bedingt, vgl. Text zu GWM R5). Im Gegensatz zu den Sauerstoffgehalten, die ein stark oxidierendes Milieu erwarten lassen würden, sind die vor Ort bestimmten Eh-Werte mit -26 mV bis 169 mV relativ niedrig und liegen im Übergangsbereich zwischen oxidierendem und reduzierendem Milieu. Die vor Ort nur an vier Proben bestimmte LF liegt bei Werten von 112 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis 241 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, und die Dichte liegt im Bereich von 1,200 g/cm^3 bis 1,204 g/cm^3 .

Die aus den Ionenkonzentrationen berechneten TDS-Gehalte liegen zwischen 233 565 mg/l und 344 837 mg/l und zeigen eine starke Mineralisierung an. Entsprechend der Ionenkonzentrationen kann das Wasser der GWM R7 als Sole vom Na-Cl-Typ eingestuft werden; Abb. 8.13 zeigt die Darstellung der Hauptionenkonzentrationen im Schoeller-Diagramm.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 273 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

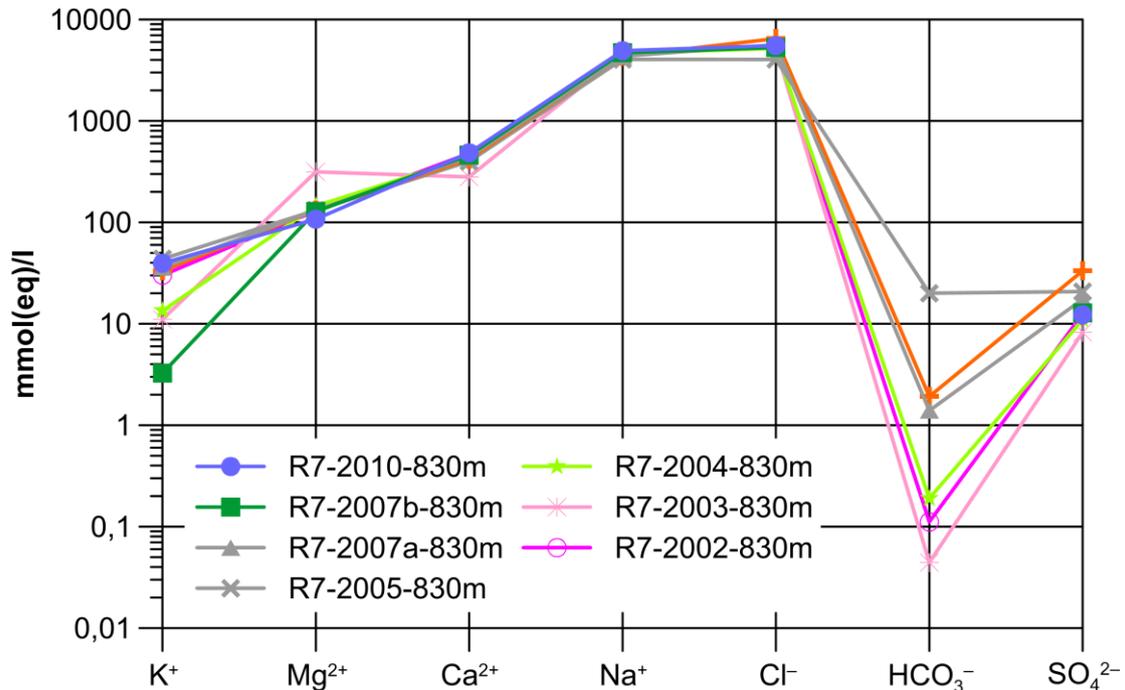


Abb. 8.13: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM R7 (für die Proben aus 2007 und 2010 liegt keine Bestimmung des HCO_3^- vor). Hellgraue Probensymbole kennzeichnen die beiden Analysendatensätze mit Ionenbilanzfehlern zwischen 5 und 10 % die als fragwürdig eingestuft werden.

In Bezug auf die Begleitstoffe liegen die Nitratkonzentrationen zumeist unter 2,2 mg/l. Eine Ausnahme bildet die als fehlerhaft eingestufte Probe R6-2006-830m mit einer Nitratkonzentration von 130 mg/l, die höchstwahrscheinlich einen Ausreißer darstellt. Ammonium weist durchgehend hohe Konzentrationen zwischen 36 mg/l und 51 mg/l auf. Die nur vereinzelt bestimmten Spurenelementkonzentrationen liegen zumeist nahe der Nachweisgrenze und im Bereich der geogenen Hintergrundkonzentrationen für Muschelkalkwässer. Außergewöhnlich hoch sind in der GWM R7 dagegen die Konzentrationen von B (bis 14,3 mg/l), Br (bis zu 1400 mg/l), I (21,2 mg/l) und Sr (bis zu 230 mg/l). Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen zumeist um 0,2 bis 0,3 (eine Analyse aus dem Jahr 2003 zeigt einen Wert von 1,1), die Na/Cl-Verhältnisse um etwa 0,7 bis 1,0, die Na/K-Verhältnisse zwischen ca. 93 und 1450 und das Cl/Br-Verhältnis zwischen 370 und 534.

Im Vergleich der dargestellten Analysendaten mit Daten aus den Jahren 1986 bis 2001, die eine plausible Ionenbilanz aufweisen (Daten aus den GSF-Jahresberichten sowie aus [GSF 1994]), ergeben sich Unterschiede zu den Analysen in der hydrochemischen Charakteristik v.a. in Bezug auf den TDS. Die Proben aus dem oberen Bereich der Wassersäule in GWM R7 (nur Proben aus einer Tiefe von etwa <450 m) sind seit dem Messstellenbau gering mineralisiert (TDS_{calc} zumeist <1000 mg/l), und können somit als Süßwasser eingestuft werden. Dieses Ergebnis stimmt gut mit den Resultaten der geophysikalischen Dichte- und Leitfähigkeitslogs von 2004 überein (Kap. 4.1.4). Der berechnete TDS für die Proben aus dem unteren Bereich der Wassersäule (480 m bis



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 274 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

860 m) zeigt seit 1986 bis heute eine leicht ansteigende Tendenz von Werten um 280 000 mg/l bis hin zu Werten, die über 300 000 mg/l liegen. Die Hauptionenkonzentrationen der Proben sind jedoch sehr einheitlich und zeigen durchgehend Sole vom Na-Cl-Typus an.

GWM R8 (*mu*, SW-Flanke)

Für die GWM R8 (Messpunkthöhe 169,65 mNN) liegen 48 Analysendatensätze vor, davon 10 aus den Jahren von 2002 bis 2011 (Tab. E.13 im Anhang) und 38 aus den Jahren 1986 bis 2001. Während der Jahre 2002 bis 2010 wurde einheitlich in einer Tiefe von 545 m unter dem Ansatzpunkt beprobt. In den Jahren davor wurden auch in flacheren Bereichen Proben genommen.

Generell weisen die in Tab. E.13 gezeigten Analysendatensätze der GWM R8 einen geringen Ionenbilanzfehler von <5 % auf. Einen mit 9 % deutlich höheren Ionenbilanzfehler zeigt nur die Probe R8-2006-545m. Die Analyse R8-2004b-545m weist zwar eine Ionenbilanz <5 % auf, zeigt jedoch ein komplett anderes Muster der Ionenkonzentrationen im Vergleich zu den übrigen, relativ konsistenten Analyseergebnissen dieser GWM. Möglicherweise liegt hier eine Verwechslung oder ein Fehler bei den Probennahmen vor und diese Probe wird bei der folgenden Betrachtung ausgeklammert. Der für eine Probe (R8-2010-545m) bestimmte Gesamtlösungsrückstand (87 066 mg/l) liegt im Bereich des aus der Ionenkonzentration berechneten Wertes (85 868 mg/l). Zusammenfassend lassen sich, mit Ausnahme der beiden obengenannten Proben, alle Analysendatensätze unter Vorbehalt als plausibel einstufen.

Die vor Ort bestimmten pH-Werte (7,4 bis 8,6) liegen durchgehend im neutralen bis schwach alkalischen Bereich. Die Sauerstoffgehalte (hier liegen nur zwei hohe Werte von 9,84 mg/l bzw. 15,08 mg/l vor die wahrscheinlich durch den hohen hydrostatischen Druck bedingt sind, vgl. Text zu GWM R5) sowie die Eh-Werte im Bereich von ca. 64 mV bis 397 mV (vor Ort ermittelt) zeigen ein schwach reduzierendes bis stark oxidierendes Milieu an. Die vor Ort gemessenen elektrischen Leitfähigkeiten der Proben zeigen zumeist Werte zwischen ca. 64 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis 113 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nur eine Probe (R8-2007a-545m) hat einen deutlich geringeren Wert von 9700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, der angesichts der Ionenkonzentration als nicht plausibel eingestuft wird und möglicherweise einen Ausreißer darstellt. Die vor Ort bestimmte Dichte liegt relativ einheitlich im Bereich von 1,061 g/cm^3 bis 1,062 g/cm^3 .

Die aus den Ionenkonzentrationen berechneten TDS-Gehalte liegen zwischen 85 251 mg/l und 93 459 mg/l und zeigen eine starke Mineralisierung an. Entsprechend der Ionenkonzentrationen wird das Wasser der GWM R8 als Salzwasser vom Na-Cl-Typ eingestuft; die Darstellung der Hauptionenverteilung im Schoeller-Diagramm ist in Abb. 8.14 gegeben.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 275 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

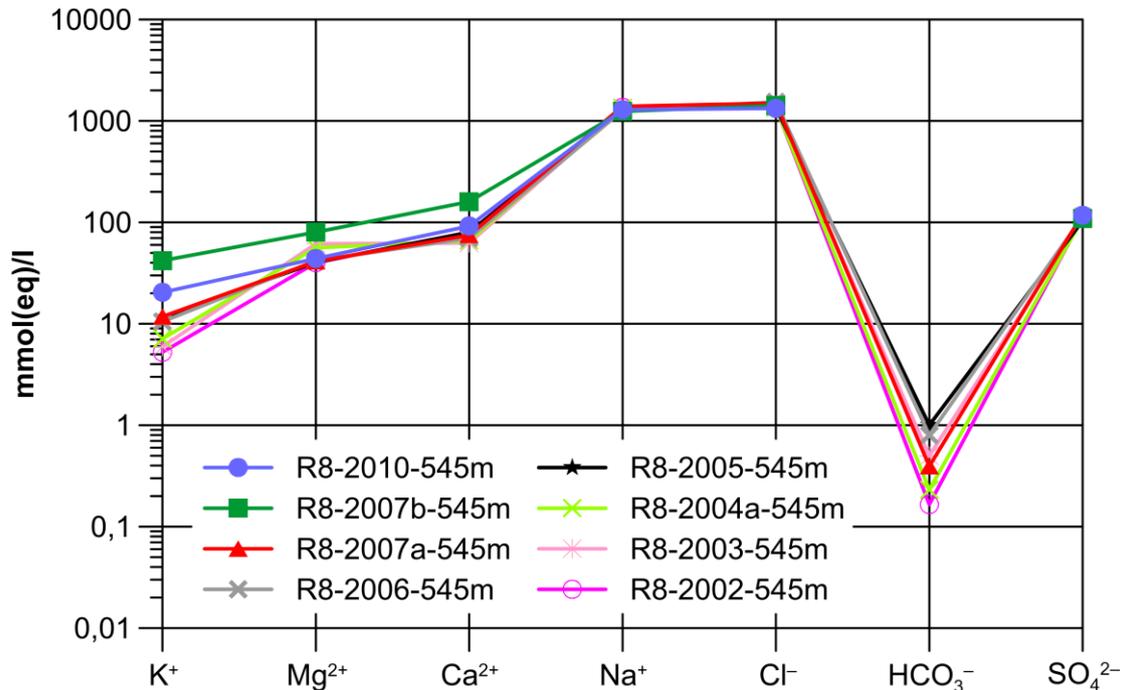


Abb. 8.14: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM R8. Graue Probensymbole kennzeichnen Analysendatensätze mit Ionenbilanzfehlern zwischen 5 und 10 %, die als fragwürdig eingestuft werden.

In Bezug auf die Begleitstoffe liegen die Nitratkonzentrationen zumeist deutlich unter 1,5 mg/l. Dagegen weist Ammonium durchgehend hohe Konzentrationen zwischen 7,0 und 12,9 mg/l auf. Die Spurenstoffkonzentrationen liegen zumeist nahe der Nachweisgrenze bzw. im Bereich der geogenen Hintergrundwerte. Nur für die Spurenelemente B (bis zu 29,5 mg/l), Br (bis zu 3463 mg/l), F (bis zu 1 mg/l), Iod (bis zu 3,7 mg/l), Li (bis zu 4,4 mg/l), Sr (bis zu 31 mg/l) und Zn (0,224 mg/l) liegen deutlich höhere Konzentrationen vor. Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen zwischen 0,5 und 1,0, die Na/Cl-Verhältnisse um etwa 0,8 bis 1,0, die Na/K-Verhältnisse zwischen ca. 30 und 258 und das Cl/Br-Verhältnis zwischen 374 und 1216.

Im Vergleich der aktuellen hydrochemischen Beschaffenheit mit den Analysenergebnissen aus den Jahren 1986 bis 2001, die eine plausible Ionenbilanz aufweisen (Daten aus den GSF-Jahresberichten sowie [GSF 1994]), ergeben sich Unterschiede in der GW-Beschaffenheit i.W. in Bezug auf den TDS. Der berechnete TDS ist in den Jahren seit 1986 von niedrigen Werten (<50 000 mg/l), die höchstwahrscheinlich durch die Zumischung von Bohrspülung (Süßwasser) verursacht wurden, rasch auf relativ konstante Werte im Bereich von 80 000 mg/l bis 90 000 mg/l gestiegen. Die Hauptionenkonzentrationen sind sehr einheitlich und zeigen ähnlich wie bei den Proben der Jahre 2002 bis 2010 Salzwasser vom Na-Cl-Typus an.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 276 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

GWM H6 (*q, mm, so1, SW-Flanke*)

Für die GWM H6 (Messpunkthöhe 179,98 mNN) liegen insgesamt 33 Analysendatensätze vor, davon acht aus den Jahren 2003 bis 2010 (Tab. E.14 im Anhang) und 25 aus den Jahren 1976 bis 1990. Beprobte Tiefenlagen zwischen 20 m und 67 m unter dem Ansatzpunkt.

Der Ionenbilanzfehler der in Tab. E.14 dargestellten acht Analysendatensätze aus den Jahren 2003 bis 2010 liegt im Bereich <5 %, drei Proben weisen einen Ionenbilanzfehler zwischen 5 und 10 % auf. Generell liegt ein Anionenüberschuss vor. Der Vergleich der berechneten und der beiden gemessenen TDS-Gehalte zeigt eine mäßige Übereinstimmung. Mit Ausnahme der drei als fragwürdig eingestuften Proben, werden die übrigen Analysendatensätze als plausibel erachtet.

Die vor Ort gemessenen physikalisch-chemischen Parameter wie Sauerstoffgehalt (zwei Werte von 4,3 und 8,2 mg/l liegen vor) und Eh-Wert (zwischen ca. 300 bis 500 mV) zeigen oxidierende Redoxverhältnisse an. Der pH-Wert liegt zwischen 7,3 und 8 im neutralen bis schwach alkalischen Bereich. Die vor Ort und im Labor gemessene elektrische Leitfähigkeit der Proben zeigen Werte zwischen ca. 6960 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis 15 560 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die im Labor bestimmte Dichte liegt relativ einheitlich bei Werten von 1,003 g/cm^3 (30 m) und 1,005 g/cm^3 (60 m), nur ein Wert weist eine Dichte von 1,007 g/cm^3 (67 m) auf. Der im Labor bestimmte DOC-Gehalt in Probe H6-2010-60m ist mit 73,2 mg/l ungewöhnlich hoch.

Die Analysendatensätze zeigen ein mittelmäßig stark mineralisiertes Grundwasser in der GWM H6, das einen berechneten Lösungsrückstand im Bereich von 4575 mg/l (2010; 30 m Tiefe) bis 9314 mg/l (2010; 67 m Tiefe) aufweist. In den Proben ab 2004 ist somit eine Zunahme der Mineralisierung mit der Beprobungstiefe zu beobachten, die in den vorangegangenen Jahren nicht existierte. Das Grundwasser der GWM H6 lässt sich als Brackwasser vom Na-Cl-Typus klassifizieren wobei einzelne Analysen, bedingt durch höhere Ca- und SO_4 -Gehalte, auch als Na-Ca-Cl- SO_4 -Wässer eingestuft werden; die Darstellung der Hauptionenkonzentrationen im Schoeller-Diagramm ist in Abb. 8.15 gegeben.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 277 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

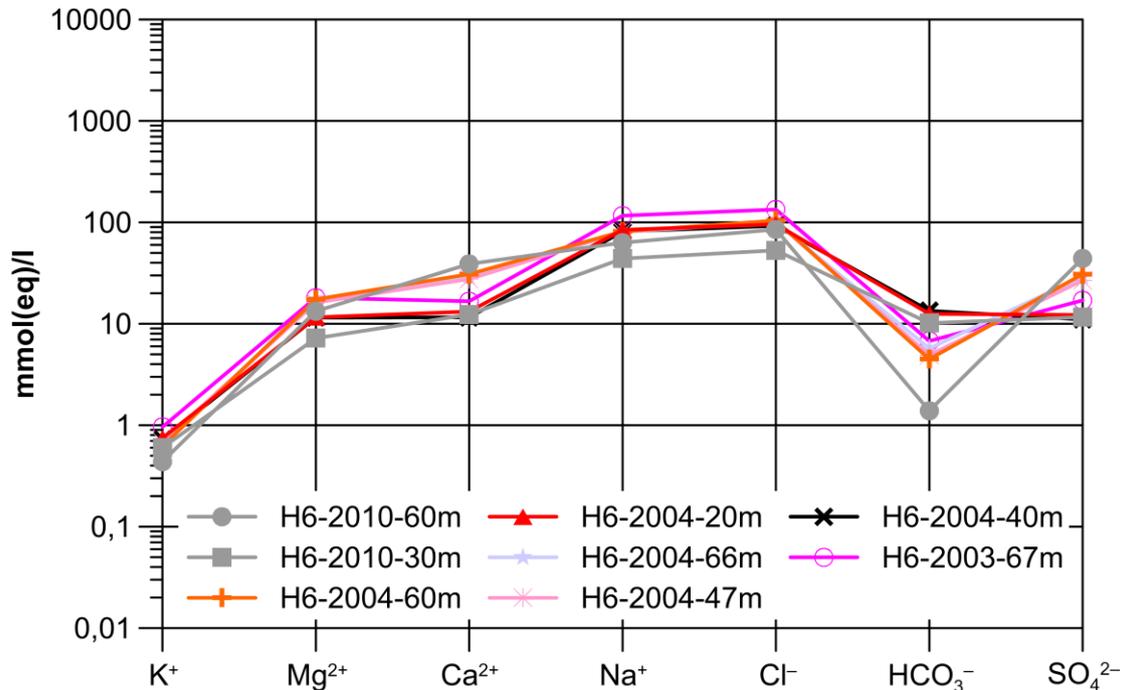


Abb. 8.15: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H6. Dunkelgraue Probensymbole kennzeichnen Analysendatensätze mit Ionenbilanzfehlern zwischen 5 und 10 % die als fragwürdig eingestuft werden.

In Bezug auf die Begleitstoffe weist eine Probe aus dem Jahr 2010 einen extrem hohen Nitratgehalt von 120 mg/l auf (ähnlich wie bei der GWM H5), während die Proben aus den vorangegangenen Jahren 2002 bis 2007 Werte in der Größenordnung zwischen 6,4 mg/l und 23,7 mg/l für den Nitratgehalt ergaben bzw. kein Nitrat nachgewiesen wurde. Die Ammoniumkonzentration ist zumeist deutlich kleiner als 1 mg/l. Die Spurenstoffgehalte der beiden Wasserproben von 2010 zeigen nur für B (max. 11,4 mg/l), Br (ein Wert bei 22,1 mg/l) und Sr (max. 26,4 mg/l) Werte, die signifikant über der Nachweisgrenze bzw. den geogenen Hintergrundwerten liegen. Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen zwischen 0,34 und 1, die Na/Cl-Verhältnisse um etwa 0,8, die Na/K-Verhältnisse zwischen 73 und 144 und das Cl/Br-Verhältnis bei Werten zwischen etwa 550 und 3500.

Während der Probennahmekampagne im Mai 2010 wurden mittels organoleptischer Ansprache erhebliche Konzentrationen des gelb-grünlichen Farbstoffes Pyranin in der GWM H6 festgestellt der am 07.06.1990 bei den Markierungsversuchen an der Südwestflanke der Asse-Struktur in dieser Messstelle eingegeben wurde [GSF 1994]. Dies deutet (ähnlich wie bei der GWM P16) auf eine sehr geringe Durchströmung der Messstelle hin (vgl. Kap. 8.4.2).

Im Vergleich der aktuellen hydrochemischen Beschaffenheit mit den Analysenergebnissen aus den Jahren 1976 bis 1990, die eine plausible Ionenbilanz aufweisen (Daten aus den GSF-Jahresberichten sowie aus [GSF 1994]), ergibt sich eine vergleichbare hydrochemische Charakteristik. Der berechnete TDS zeigt zumeist Werte im Bereich von 2000 mg/l bis 6000 mg/l für die



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 278 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Proben aus den oberflächennahen Bereichen (bis etwa 40 m Tiefe) und etwas höhere Werte bis zu maximal 10 000 mg/l für den tieferen Abschnitt dieser GWM. Analog zu den Proben aus den Jahren 2002 bis 2011 ist auch hier eine leichte Zunahme der Mineralisierung mit der Zeit zu beobachten. Zumeist liegt hier Brackwasser vom Na-Cl-Typus vor, wobei einzelne Analysen, bedingt durch höhere Ca und SO₄-Gehalte, auch als Na-Ca-Cl-SO₄-Wässer eingestuft werden.

GWM H16 (*mm*, SW-Flanke)

Für die GWM H16 (Messpunkthöhe 176,2 mNN) liegen insgesamt 25 Analysendatensätze vor, davon vier aus den Jahren 2002 bis 2010 (Tab. E.15 im Anhang) und 21 aus den Jahren 1976 bis 1996. In den Jahren 2002 bis 2010 wurde einheitlich bei einer Tiefe von 33 m beprobt, davor wurden auch Proben in geringerer Tiefe genommen.

Alle vier in Tab. E.15 gezeigten Analysendatensätze weisen einen Ionenbilanzfehler von <5 % auf und werden somit als akzeptabel eingestuft. Auch der Vergleich des berechneten mit dem gemessenen Gesamtlösungsgehalt zeigt eine gute Übereinstimmung.

Die vor-Ort gemessenen physikalisch-chemischen Parameter Sauerstoffgehalt (2,24 mg/l) und Eh (130 mV) sind niedrig und zeigen ein schwach oxidierendes Milieu an. Der pH-Wert liegt mit 8,6 im schwach alkalischen Bereich. Die LF liegt bei 17 200 µS/cm bis 22 400 µS/cm und die Dichte bei 1,013 g/cm³ bzw. 1,014 g/cm³.

Die Analysendatensätze zeigen prinzipiell ein sehr stark mineralisiertes Grundwasser in der GWM H16 mit einem TDS_{calc} zwischen 9496 mg/l bis 17 120 mg/l. Dabei weist nur die Probe H16-2002a-33m einen geringeren Wert auf. Die anderen drei Analysendatensätze liegen an der oberen Grenze. Aufgrund der im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.16 gezeigten Ionenverteilung lässt sich das Wasser der GWM H16 als Na-SO₄-Cl-Wasser einstufen, eine Probe aus dem Jahr 2002 weist jedoch auch einen deutlich höheren Ca-Anteil auf, der zu einer Einstufung als Na-Ca-Cl-SO₄-Wasser führt; die Darstellung der Hauptionenkonzentrationen im Schoeller-Diagramm ist in Abb. 8.16 gegeben.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 279 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

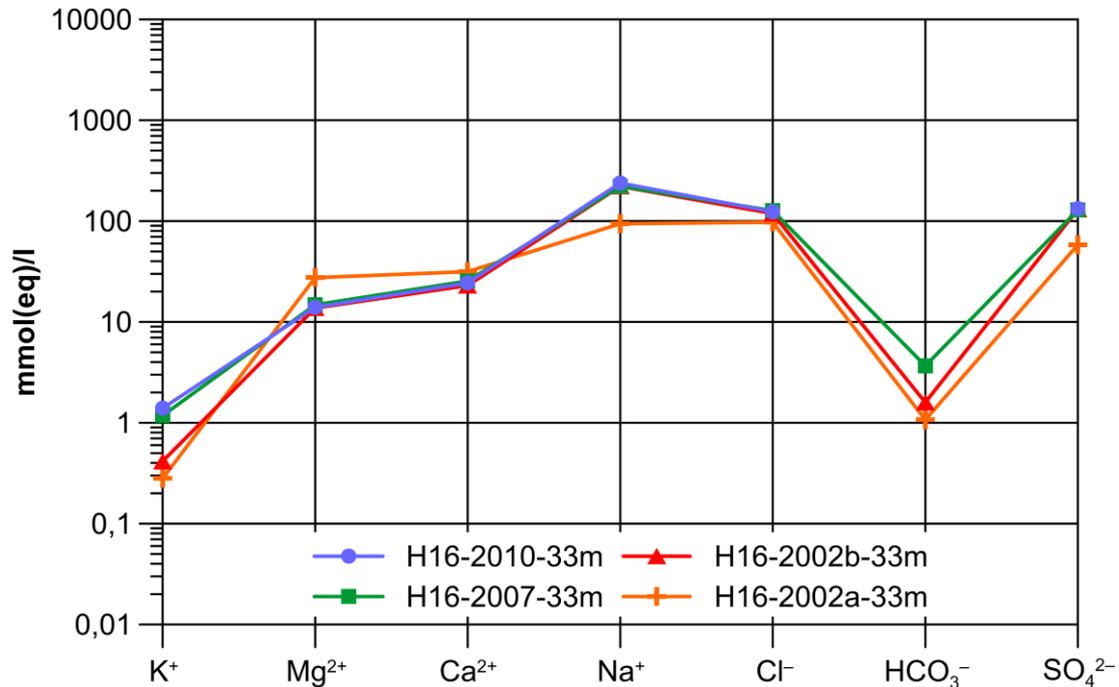


Abb. 8.16: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H16.

Bei den Begleitstoffen (i.W. Nitrat und Ammonium) zeigen sich keine Werte die über den geogenen Hintergrundwerten liegen. Die Spurenstoffe Rb, Sr, I, Cr, Ni, Zn und Si, die an den Wasserproben von 2007 und 2010 bestimmt wurden, zeigen keine Werte die deutlich über den jeweiligen geogenen Hintergrundwerten liegen. Nur die Spurenelemente B (93 mg/l), Br (6,7 mg/l), F (2,54 mg/l), Li (14,4 mg/l) Si (2,43 mg/l) und Sr (12,1 mg/l) weisen deutlich erhöhte Konzentrationen auf. Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen zwischen 0,6 und 0,9, die Na/Cl-Verhältnisse um etwa 1,0 bis 1,9, die Na/K-Verhältnisse zwischen 171 und 532 und das Cl/Br-Verhältnis bei Werten zwischen etwa 1163 und 3170.

Im Vergleich der aktuellen hydrochemischen Beschaffenheit mit den Analysenergebnissen aus den Jahren 1976 bis 1996, die eine plausible Ionenbilanz aufweisen (Daten aus den GSF-Jahresberichten sowie aus [GSF 1994]), ergeben sich Unterschiede in der hydrochemischen Charakteristik i.W. in Bezug auf den TDS-Gehalt. Der berechnete TDS-Gehalt zeigt generell einen geringeren Wert in den ersten Beprobungsjahren zwischen 1976 und 1990 (TDS_{calc} zwischen 3000 mg/l bis 10 000 mg/l) und eine Zunahme mit der Tiefe. Die Hauptionenkonzentrationen zeigen ebenfalls ein Na-Cl-Wasser an, wobei für Proben in geringeren Tiefen teilweise höhere Ca-, Mg- und SO₄-Gehalte vorliegen.

GWM P13 (mm, so2-so3, SW-Flanke)

Für die GWM P13 (Messpunkthöhe 213,58 mNN) liegen insgesamt 22 Analysendatensätze vor. Davon stammen sieben aus den Jahren 2002 bis 2010 (Tab. E.16 im Anhang) und 15 aus den Jahren 1986 bis 2001. Die Proben wurden im Bereich von 90 m Tiefe genommen, nur für die Pro-



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 280 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

bennahmekampagnen der Jahre vor 2002 wurden auch Proben aus geringeren Tiefenlagen genommen.

Drei der sieben in Tab. E.16 dargestellten Analysendatensätze weisen einen Ionenbilanzfehler zwischen 5 und 10 % auf und werden dementsprechend als fragwürdig eingestuft. Die übrigen vier Proben zeigen dagegen einen sehr geringen Ionenbilanzfehler (<0,1 %). Insofern werden die vier Analysendatensätze mit einem Ionenbilanzfehler von <5 % als plausibel eingestuft. Der für eine Probe vorliegende Wert für den im Labor bestimmten TDS-Gehalt weist eine gute Übereinstimmung mit dem aus den Ionenkonzentrationen berechneten Wert auf.

Der vor Ort bestimmte Sauerstoffgehalt einer Probe (11,13 mg/l) sowie die vor Ort gemessenen Eh-Werte von 157 mV bis 253 mV zeigen ein oxidierendes Milieu an. Die vor Ort gemessene LF (ein Wert) liegt bei 88 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und die Dichte bei 1,045 g/cm^3 .

Mit TDS-Gehalten von ca. 57 084 mg/l bis 64 429 mg/l (Anstieg von 2002 bis 2010) ist das Wasser der GWM P13 als Salzwasser einzustufen. Die Ionenkonzentrationen zeigen ein Grundwasser vom Na-Cl-Typus an, die Verteilung der Hauptionenkonzentrationen ist in Abb. 8.17 gezeigt.

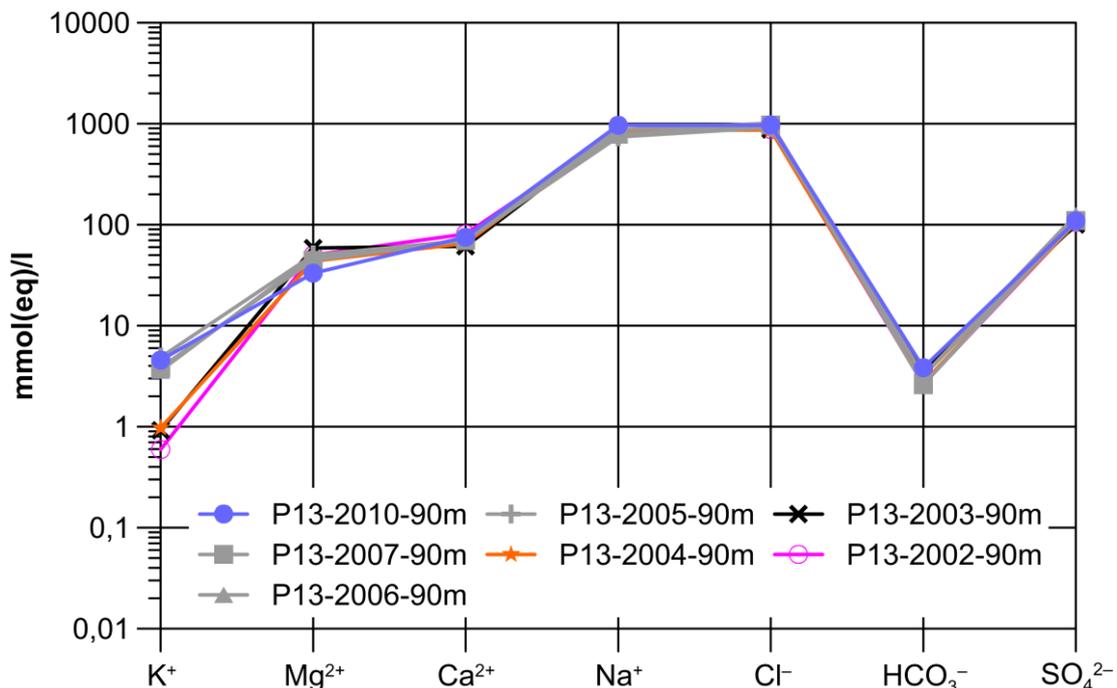


Abb. 8.17: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM P13. Graue Probensymbole kennzeichnen Analysendatensätze mit Ionenbilanzfehlern zwischen 5 und 10 %, diese Analysen werden als fragwürdig eingestuft.

Die Konzentration der meisten Begleitstoffe, wie z.B. Nitrat, ist generell kleiner als 1 mg/l, nur Ammonium weist Gehalte zwischen 1,5 mg/l und 7,1 mg/l für die vier Proben aus den Jahren 2005 bis 2010 auf. Die Spurenstoffe, die an den beiden Wasserproben von 2010 bestimmt wurden, zeigen



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 281 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

für die Elemente Al, As, Ni, Zn und U Werte nahe der Nachweisgrenze bzw. im Bereich der geogenen Hintergrundwerte für die jeweiligen Elemente. Für die Spurenelemente B (max. 17,5 mg/l), Br (max. 27,6 mg/l), F (max. 0,57 mg/l), I (max. 1,1 mg/l), Li (max. 11,2 mg/l), Rb (max. 100 mg/l), Sr (max. 26,7 mg/l) und Si (max. 6,6 mg/l) ergeben sich z.T. signifikant erhöhte Konzentrationen. Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen zwischen 0,1 und 1,0, die Na/Cl-Verhältnisse um etwa 0,8 bis 1,0, die Na/K-Verhältnisse zwischen ca. 212 und 1429 und das Cl/Br-Verhältnis zwischen 2624 und 10 544.

Im Vergleich der aktuellen hydrochemischen Beschaffenheit mit den Analysenergebnissen aus den Jahren 1986 bis 2001, die eine plausible Ionenbilanz aufweisen (Daten aus den GSF-Jahresberichten sowie [GSF 1994]), ergeben sich Unterschiede in der hydrochemischen Charakteristik i.W. in Bezug auf den TDS und untergeordnet auch für die Hauptionenkonzentrationen. Die Proben, die oberhalb einer Tiefe von 90 m genommen wurden (z.B. bei 63 m oder 72 m), weisen insgesamt eine deutlich geringere Mineralisierung (TDS_{calc} zwischen 1223 mg/l und 3317 mg/l) sowie eine veränderte Hauptionenzusammensetzung (Ca-Mg-SO₄-Typus und Zwischenstufen zum Na-Cl-Typus) auf und zeigen somit eine Dichteschichtung an, die auch durch die geophysikalischen Leitfähigkeits- und Dichtelogs bestätigt wird (Kap. 4.1.4). Für den Abschnitt der GWM P13 unterhalb von etwa 80 m zeigt sich ein gradueller Anstieg der Mineralisierung von ca. 18 000 mg/l im ersten Jahr nach Errichtung der GWM bis zu Werten von ca. 56 000 mg/l im Jahr 2001. Dieser Anstieg setzt sich dann bis zum Jahr 2010 fort (siehe oben). Signifikante Änderungen der Hauptionenverteilung sind dabei aus den vorliegenden hydrochemischen Daten nicht abzuleiten.

GWM H2 (mm, mo, km, NE-Flanke)

Für die GWM H2 (Messpunkthöhe 143,43 mNN) liegen insgesamt 20 Analysendatensätze vor. Davon stammen zwei aus dem Jahr 2004 (Tab. E.17 im Anhang) und 18 aus den Jahren 1976 bis 1990. Die beiden Proben von 2004 wurden in einer Tiefe von 35 m bzw. 58 m genommen.

Der Ionenbilanzfehler der in Tab. E.17 gezeigten Analysendatensätze liegt für die beiden Proben der GWM H2 unter 2 %. Eine weitergehende Überprüfung der Plausibilität der hydrochemischen Analysen ist durch das weitgehende Fehlen der physikalisch-chemischen Parameter, insbesondere des TDS, nicht durchführbar. Somit sind die für diese Messstelle vorliegenden Wasseranalysen unter Vorbehalt als plausibel einzuordnen.

Die physikalisch-chemischen Parameter (O₂-Gehalt, TDS, LF, Eh-Wert, Dichte) wurden bei diesen Proben weder vor Ort noch im Labor bestimmt. Einzig ein Labormesswert für den pH-Wert liegt vor und ist mit 7 im neutralen Bereich. Die LF_{calc} liegt bei ca. 3400 μ S/cm für die Probe aus dem oberen Abschnitt der GWM und bei 20 000 μ S/cm für die Probe aus dem unteren Abschnitt.

Aufgrund der in Abhängigkeit von der Tiefenlage unterschiedlichen GW-Beschaffenheit lassen sich für die GWM H2 zwei übereinander liegende Abschnitte unterscheiden:

- (i) Einen gering mineralisierten oberen Grundwasserkörper ($TDS_{calc} = 1969$ mg/l) der Brackwasser vom Ca-SO₄-Typ führt. Die Tiefenlage der Proben aus diesem Horizont liegt im Bereich der Ton-Siltsteine des Mittleren Keuper.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 282 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- (ii) Einen stärker mineralisierten unteren Grundwasserkörper ($TDS_{\text{calc}} = 10\,299\text{ mg/l}$) der Salzwasser vom Na-Cl-SO₄-Typ aufweist. Die Tiefenlage der Proben aus diesem Horizont liegt im Bereich der sulfatreichen Tonsteine des Mittleren Muschelkalk.

Diese Schichtung der Wassersäule in der GWM H2 wird durch die geophysikalischen Leitfähigkeits- und Dichtelogs bestätigt (Kap. 4.1.4). Die Verteilung der Hauptionenkonzentrationen für beide Abschnitte der GWM H2 ist im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.18 gezeigt.

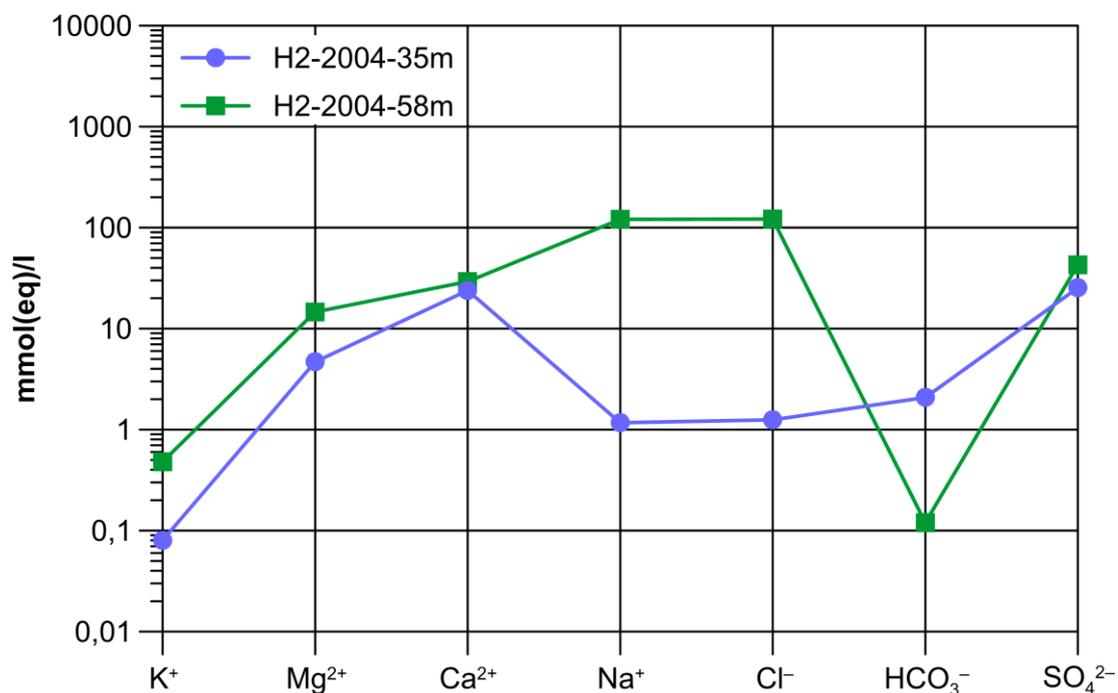


Abb. 8.18: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen in mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H2.

In Bezug auf die Begleitstoffe sind die Nitratkonzentrationen insgesamt niedrig (bei Probe H2-2004-85m ca. 0,6 mg/l); Ammonium wurde nicht nachgewiesen. Für die Spurenstoffe liegen nur für B, Br, Li und Sr Analysen in der Probe H2-2004-85m vor. Dabei liegen die Konzentrationen von B (313,5 mg/l), Sr (11,4 mg/l), Li (2,2 mg/l) und Br (33,56 mg/l) jeweils deutlich über den geogenen Hintergrundwerten. Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen bei 0,2 (oberer Grundwasserhorizont) und 0,5 (unterer), die Na/Cl-Verhältnisse bei ca. 1, die Na/K-Verhältnisse bei ca. 15 (oberer) und 250 (unterer) und das Cl/Br bei 290 (nur für die tiefere Probe bestimmt).

Im Vergleich der aktuellen hydrochemischen Beschaffenheit mit den Analysenergebnissen aus den Jahren 1976 bis 1990, die eine plausible Ionenbilanz aufweisen (Daten aus den GSF-Jahresberichten sowie aus [GSF 1994]), ergeben sich Unterschiede in der hydrochemischen Charakteristik i.W. in Bezug auf den TDS. Die Proben, die oberhalb einer Tiefe von 30 m genommen wurden (z.B. bei 10 m oder 18 m), weisen eine deutlich geringere Mineralisierung (TDS_{calc} zwischen 1903 mg/l und 2470 mg/l) sowie eine veränderte Hauptionenzusammensetzung (Na-Cl-SO₄-Typus) auf und zeigen somit ebenfalls eine Schichtung der Wassersäule an (siehe oben). Für den



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 283 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Abschnitt der GWM H2 unterhalb von etwa 30 m zeigt sich ein Anstieg der Mineralisierung von ca. 3200 mg/l im ersten Jahr nach Errichtung der GWM 1971 bis zu Werten von ca. 8980 mg/l im Jahr 1980. Signifikante Änderungen der Hauptionenkonzentrationsverhältnisse sind dabei aus den hydrochemischen Daten nicht abzuleiten.

8.2.3 Keuper

GWM P17 (km, NE-Flanke)

Für die GWM P17 (Messpunkthöhe 133,09 mNN) liegen insgesamt 15 Analysendatensätze vor. Davon stammen fünf aus den Jahren 2003 bis 2010 (Tab. E.18 im Anhang) und 10 aus den Jahren 1986 bis 1992. Es wurde während der Jahre 2003 bis 2010 in einer Tiefe von 55 m bzw. 56 m beprobt.

Die Ionenbilanzen der in Tab. E.18 dargestellten Analysendatensätze sind sehr unterschiedlich. Drei Analysen aus den Jahren 2003 bis 2010 zeigten einen Ionenbilanzfehler <5 %. Zwei Analysen aus dem Jahr 2003 war keine Entnahmetiefe zuzuordnen und zudem wiesen diese Proben einen hohen Ionenbilanzfehler von mehr als 10 % auf. Deshalb wurden diese beiden Proben von der weiteren Betrachtung ausgeklammert. Die Abweichungen der gemessenen und berechneten Werte für die TDS-Gehalte sind im tolerierbaren Bereich. Dementsprechend wurden drei Analysendatensätze als plausibel eingestuft.

Die vor Ort bestimmten pH-Werte (nur für zwei Proben bestimmt) liegen bei 7,5 bzw. 9 im neutralen bzw. alkalischen Bereich. Der vor Ort gemessene Sauerstoffgehalt ist mit 11,54 mg/l (nur ein Wert bestimmt) relativ hoch und zeigt zusammen mit dem in dieser Probe bestimmten Eh-Wert von 224 mV ein oxidierendes Milieu an. Die LF dieser beiden Proben liegt bei 73 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bzw. 88 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und die Dichte bei 1,048 g/cm^3 bzw. 1,049 g/cm^3 .

Die aus den Ionenkonzentrationen berechneten TDS-Gehalte liegen zwischen 64 626 mg/l und 67 897 mg/l und zeigen eine hohe Mineralisierung an. Entsprechend der Mineralisierung und der Ionenkonzentrationen kann das Wasser der GWM P17 als Salzwasser vom Na-Cl-Typ eingestuft werden. Die Verteilung der Hauptionen ist im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.19 gezeigt.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 284 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

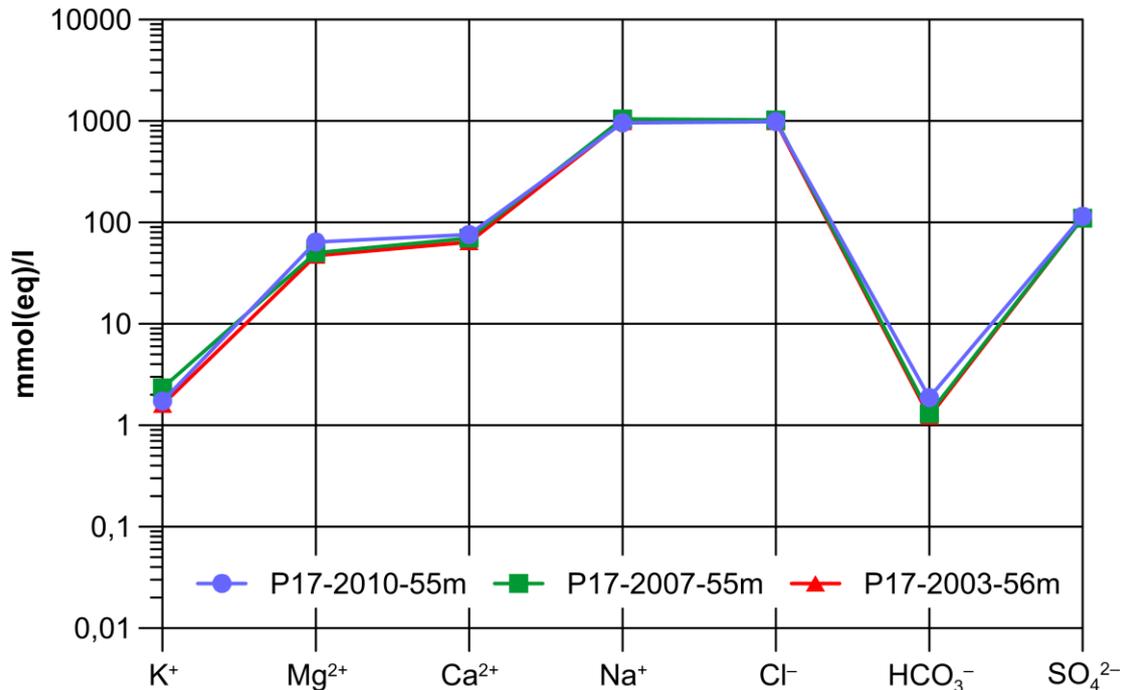


Abb. 8.19: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM P17.

In Bezug auf die Begleitstoffe sind die Nitratkonzentrationen mit max. 0,62 mg/l sehr gering. Dagegen zeigt Ammonium Konzentrationen von bis zu 6,9 mg/l. Von den Spurenstoffen weisen Li, Sr, B, Br, F und Zn erhöhte Konzentrationen auf, während die übrigen Spurenstoffe zumeist im Bereich der jeweiligen Nachweisgrenze liegen. Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen bei 0,7 bis 0,8, die Na/Cl-Verhältnisse bei ca. 1,0, die Na/K-Verhältnisse bei 448 bis 615 und das Cl/Br-Verhältnis bei 1670 und 2307 (nur für zwei Proben bestimmt).

Im Vergleich der aktuellen hydrochemischen Beschaffenheit mit den Analysenergebnissen aus den Jahren 1986 bis 1992, die eine plausible Ionenbilanz aufweisen (Daten aus den GSF-Jahresberichten sowie aus [GSF 1994]), ergeben sich Unterschiede in der hydrochemischen Charakteristik in Bezug auf den TDS-Gehalt und auch für die Hauptionenkonzentrationen. Die Proben, die oberhalb einer Tiefe von 20 m genommen wurden, weisen eine deutlich geringere Mineralisierung ($TDS_{calc} < 1000$ mg/l) sowie eine veränderte Hauptionenzusammensetzung (Ca-Mg-SO₄-HCO₃-Typus) auf und zeigen somit eine Dichteschichtung an. Es liegen jedoch keine geophysikalischen Daten vor, die den genauen Verlauf der Dichte zeigen könnten. Für den Abschnitt der GWM P17 unterhalb von etwa 20 m zeigt sich ein Anstieg der Mineralisierung von ca. 15 200 mg/l im ersten Jahr nach Errichtung der GWM P17 1986 bis zu Werten von ca. 46 500 mg/l im Jahr 1992. Signifikante Änderungen der Hauptionenkonzentrationsverhältnisse sind dabei aus den vorliegenden hydrochemischen Daten nicht abzuleiten.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 285 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

GWM P9 (km, SW-Flanke)

Für die GWM P9 (Messpunkthöhe 164,12 mNN) liegen nur zwei Analysendatensätze aus den Jahren 2007 und 2010 vor (Tab. E.19 im Anhang). Beide Proben wurden in einer Tiefe von 11 m genommen.

Wie in Tab. E.19 gezeigt, weisen die beiden Proben aus der GWM P9 einen sehr hohen Ionenbilanzfehler von 37,3 % (P9-2007-11m) und 20,1 % (P9-2010-11m) auf, und werden dementsprechend als fehlerhaft eingestuft. Dementsprechend werden die physikalisch-chemischen Daten im Folgenden unter Vorbehalt gezeigt, da für diese Messstelle keine weiteren Analysendatensätze vorliegen.

Die vor Ort bestimmten pH-Werte liegen bei 6,8 bzw. 7,2 im neutralen Bereich. Der vor Ort nur für eine Probe gemessene Sauerstoffgehalt von 4,9 mg/l zeigt zusammen mit dem in dieser Probe bestimmten Eh-Wert von 403 mV ein oxidierendes Milieu an. Die LF der beiden Proben liegt bei 1330 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bzw. 1785 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und die Dichte bei 1,000 g/cm^3 bzw. 0,999 g/cm^3 . Auffällig ist hier die hohe Temperatur von 23,2 °C bei der Probe aus dem Jahr 2010, für die es keine Erklärung gibt (Labortemperatur: 25 °C).

Unter Vorbehalt lässt sich aufgrund der Mineralisierung ($\text{TDS}_{\text{calc}} = 920 \text{ mg/l}$ bzw. 1586 mg/l) das Grundwasser aus dieser GWM als Süßwasser vom Ca-Mg- HCO_3^- bzw. Ca- SO_4 - HCO_3^- -Cl-Typ einstufen.

GWM P15 (ko, SW-Flanke)

Für die GWM P15 (Messpunkthöhe 159,82 mNN) liegen insgesamt 15 Analysendatensätze vor, davon 5 aus den Jahren 2003 bis 2010 (Tab. E.20 im Anhang) und 10 aus den Jahren 1985 bis 1996. Beprobte Tiefen von 30 m bis 45 m.

Der Ionenbilanzfehler der in Tab. E.20 gezeigten Analysendatensätze liegt für drei Proben der GWM P15 deutlich unter 5 %; zwei Proben aus dem Jahre 2007 bzw. 2010 liegen bei 5,6 % bzw. 5,9 % und werden deshalb als fragwürdig eingestuft und im Folgenden unter Vorbehalt dargestellt. Der Vergleich des gemessenen TDS mit dem aus den Ionenkonzentrationen berechneten Lösungsrückstand ist nur für eine Probe (P15-2010-40m) möglich und zeigt einen Unterschied (760 mg/l vs. 1178 mg/l). Insgesamt werden mit Ausnahme der beiden fragwürdigen Proben (P15-2007-40m und P15-2010-40m) die übrigen drei Analysendatensätze der GWM P15 als plausibel eingestuft.

Der Sauerstoffgehalt (nur in den zwei fraglichen Proben mit 3,77 mg/l und 8,1 mg/l gemessen) und die vor Ort (eine fragliche Probe mit 370 mV) sowie die im Labor (170 mV bzw. 465 mV) jeweils an den fraglichen Proben gemessenen Eh-Werte sind für ein oxidierendes Milieu charakteristisch. Die im Labor bestimmten Werte für die LF liegen zwischen 1260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 3830 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Dichte liegt im Bereich von 1,000 g/cm^3 bis 1,003 g/cm^3 . Auffällig sind die hohen Temperaturen von 23,3 °C bei den beiden Proben aus dem Jahr 2003. Möglicherweise wurde hier versehentlich der Wert für die Temperatur im Labor eingetragen.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 286 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Mit den aus den Ionenkonzentrationen berechneten TDS-Werten von zumeist <1200 mg/l (eine Probe aus 2003 liegt bei 2247 mg/l), lässt sich das Wasser der GWM P15 als Süßwasser einstufen. Die Typzuteilung aufgrund der Hauptionenverteilung ist wegen der ähnlichen Menge der Hauptelemente für jede Probe etwas unterschiedlich (Bsp.: Mg-Na-Ca-Cl-Typus in Probe P15-2003-44m und Na-Mg-Cl-HCO₃-Typus in Probe P15-2010-40m). Die Verteilung der Hauptionenkonzentrationen ist im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.20 gezeigt.

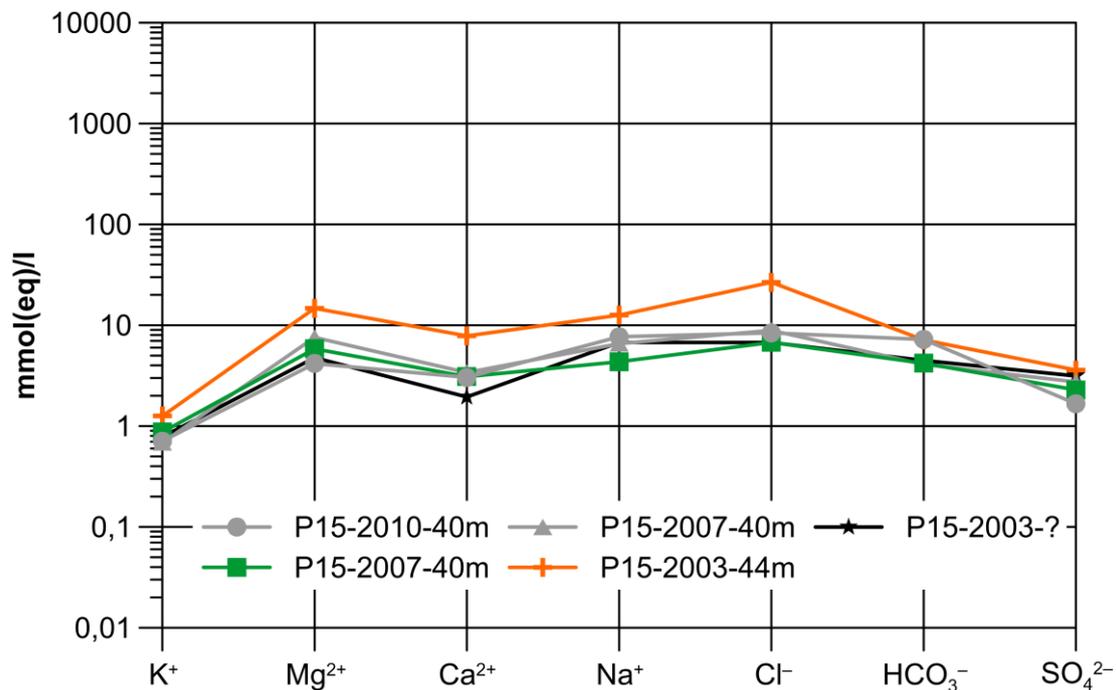


Abb. 8.20: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM P15. Dunkelgraue Probensymbole kennzeichnen Analysendatensätze mit Ionenbilanzfehlern zwischen 5 und 10 %, die als fragwürdig eingestuft wurden. Das Fragezeichen in der Probe P15-2003 zeigt an, dass für diese Probe keine Entnahmetiefe angegeben wurde.

Von den Begleitstoffen zeigen die Nitratkonzentrationen einen Wertebereich von 9,2 mg/l bis 44 mg/l, während Ammonium nicht nachgewiesen wurde. Die für die plausiblen Proben bestimmten Spurenelemente liegen bis auf Al (max. 0,28 mg/l), B (max. 0,57 mg/l) und Br (0,33 mg/l) nahe der Nachweisgrenze bzw. der geogenen Hintergrundwerte für die jeweiligen Elemente. Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen bei 1,9 bis 2,4, die Na/Cl-Verhältnisse bei 0,5 bis 1,0, die Na/K-Verhältnisse bei 5 bis 10 und das Cl/Br-Verhältnis (nur ein Wert für Probe P15-2007-120m) liegt bei 1639.

Im Vergleich mit den Proben aus den Jahren 1985 bis 1996 (Daten aus den GSF-Jahresberichten sowie aus [GSF 1994]), die eine plausible Ionenbilanz aufweisen, ergeben sich keine signifikanten Unterschiede in der hydrochemischen Charakteristik für die Proben der GWM P15. Einzig die beiden Proben, die im Jahr der Errichtung der GWM 1985 genommen wurden, weisen einen deutlich geringeren TDS (etwa 780 mg/l) und geringfügig veränderte Hauptionenkonzentrationen (Wasser



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 287 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

vom Ca-SO₄-HCO₃-Typus) auf. Für die in den Jahren danach genommenen Wasserproben liegt der berechnete TDS im Bereich der Minimal- und Maximalwerte von ca. 1120 mg/l bzw. 2092 mg/l und ist somit vergleichbar mit den Werten aus dem Zeitraum 2002 bis 2011. Die Hauptionenkonzentrationen zeigen zumeist ebenfalls ein Süßwasser vom Na-Mg-Cl-HCO₃- bzw. Na-Mg-Cl-Typus an. Eine Tiefenabhängigkeit der Mineralisierung ist nicht feststellbar, da die GWM P15 zumeist nur in der Tiefenlage von 30 m bis 45 m beprobt wurde.

8.2.4 Jura

GWM H7 (*ju*, SW-Flanke)

Für die GWM H7 (Messpunkthöhe 145,62 mNN) liegen insgesamt 18 Analysendatensätze vor, davon stammt jeweils einer aus dem Jahr 2003 bzw. 2010 (Tab. E.21 im Anhang) und 16 aus den Jahren 1976 bis 1988. Die Tiefenlage der Probennahme lag für die beiden Proben aus 2003 und 2010 bei 29 m unter Messpunkthöhe, die in den Jahren davor genommenen Proben stammen zumeist aus oberflächennäheren Tiefenbereichen von 12 m bis 17 m. Für die 5 Proben aus dem Jahr 1981 wurde keine Probennahmetiefe angegeben.

Die beiden in Tab. E.21 gezeigten Analysendatensätze weisen eine sehr unterschiedliche Ionenbilanz auf. Der Analysendatensatz aus dem Jahr 2010 weist einen unakzeptablen Ionenbilanzfehler von 20,4 % auf. Nur die Probe aus dem Jahr 2003 liegt bei 5,9 %, wird aber als fragwürdig eingestuft und im Folgenden unter Vorbehalt dargestellt. Eine weitere Plausibilitätskontrolle mittels des TDS-Gehaltes ist nur für die fehlerhafte Probe H7-2010-29m möglich. Diese weist eine deutliche Differenz zwischen dem gemessenen (1560 mg/l) und berechneten (1828 mg/l) TDS auf.

Für die Probe aus dem Jahr 2003 wurden vor Ort keine chemisch-physikalischen Parameter bestimmt. Entsprechende vor-Ort Daten liegen nur für die Analyse aus dem Jahr 2010 und sollten durch die fehlerhafte Hauptionenbilanz nicht beeinträchtigt sein. Die für die Probe aus 2010 vor Ort bestimmten Werte der physikalisch-chemischen Parameter Sauerstoffgehalt (1,97 mg/l) und Eh-Wert (173 mV) sind für ein leicht oxidierendes Milieu charakteristisch. Der pH-Wert liegt mit 7,6 im neutralen Bereich. Die spezifische elektrische Leitfähigkeit liegt bei 2190 µS/cm und die Dichte bei 1,001 g/cm³.

Die beiden Analysendatensätze für die GWM H7 zeigen eine geringe Mineralisierung des Wassers an (TDS_{calc} = 1828 mg/l). Aufgrund der Ionenverteilung lässt sich das Wasser der GWM H7 als sehr gering mineralisiertes Brackwasser vom Na-Ca-Cl-HCO₃-SO₄-Typ klassifizieren. Die Verteilung der Hauptionenkonzentrationen ist im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.21 gezeigt.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 288 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

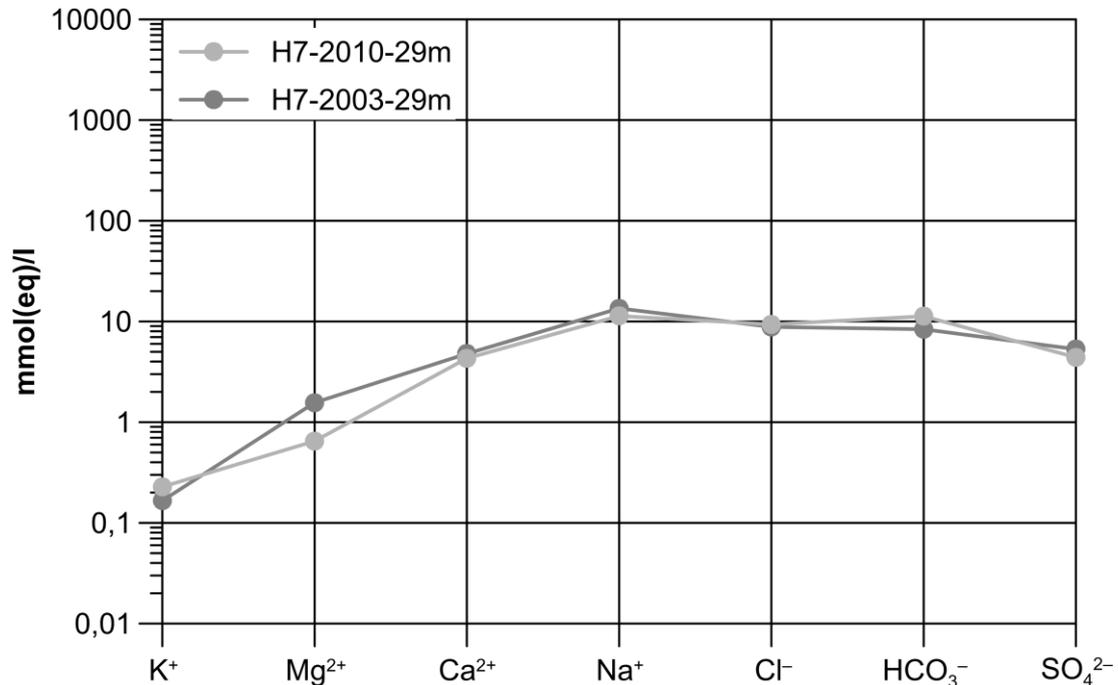


Abb. 8.21: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H7. Die dunkelgrauen Probensymbole kennzeichnen den als fragwürdig eingestuft Analysendatensatz mit einem Ionenbilanzfehler zwischen 5 und 10 %. Die hellgrauen Symbole kennzeichnen den fehlerhaften Analysendatensatz (Ionenbilanzfehler >10 %).

Die Konzentrationen der Begleitstoffe Nitrat und Ammonium sind sehr gering (z.B., NO₃⁻ <3 mg/l in 2003). Die Spurenstoffkonzentrationen von Sr, B, Br, Li, Rb und Si, die an der plausiblen Wasserprobe von 2003 bestimmt wurden, zeigen zumeist keine Werte die signifikant über der jeweiligen Nachweisgrenze bzw. geogenen Hintergrundwerte liegen. Die für die Probe aus dem Jahr 2003 aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen bei 0,3, die Na/Cl-Verhältnisse bei 1,5, die Na/K-Verhältnisse bei 81.

Im Vergleich mit den Proben aus der GWM H7 vor 2002 aus den Jahren 1976 bis 1988 (Daten aus den GSF-Jahresberichten sowie aus [GSF 1994]), die eine plausible Ionenbilanz aufweisen, ergeben sich keine signifikanten Unterschiede in der hydrochemischen Charakteristik. Der berechnete TDS dieser Proben variiert von etwa 1200 mg/l bis 2000 mg/l und ist somit vergleichbar zum TDS der (als fragwürdig eingestuft) Probe von 2003 (1518 mg/l). Die Hauptionenkonzentrationen zeigen zumeist ebenfalls ein gering mineralisiertes Brackwasser vom Na-Ca-Cl-SO₄-HCO₃-Typ an. Eine signifikante Veränderung der GW-Beschaffenheit in der GWM H7 mit der Tiefe und der Zeit ist aus den hydrochemischen Daten nicht abzuleiten.

GWM H9 (ju, SW-Flanke)

Für die GWM H9 (Messpunkthöhe 145,1 mNN) liegen insgesamt 26 Analysendatensätze vor, davon drei aus den Jahren 2003, 2007 und 2010 (Tab. E.22 im Anhang) sowie 23 aus den Jahren



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 289 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

1976 bis 1996. Das Grundwasser in dieser GWM wurde von 2003 bis 2010 einheitlich in 50 m Tiefe beprobt. Für die Probenahmen in den davorliegenden Jahren wurden auch Proben aus geringerer Tiefe genommen.

Alle drei in Tab. E.22 gezeigten Analysendatensätze der Jahre 2003 bis 2010 weisen einen akzeptablen Ionenbilanzfehler von <5 % auf. Eine weitere Plausibilitätskontrolle mittels des TDS ist nur für eine Probe möglich (H9-2010-50m). Diese zeigt eine gute Übereinstimmung des berechneten mit dem gemessenen Gesamtlösungsrückstand.

Die Werte der vor Ort und im Labor gemessenen physikalisch-chemischen Parameter Sauerstoffgehalt (10,44 mg/l) und Eh (224 mV) sind für ein oxidierendes Milieu charakteristisch. Der pH-Wert liegt mit 7,3 bis 7,8 im neutralen Bereich. Die spezifische elektrische Leitfähigkeit liegt zwischen 6200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis 8460 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und die Dichte bei 1,003 g/cm^3 bzw. 1,004 g/cm^3 .

Die Analysendatensätze zeigen prinzipiell ein gering mineralisiertes Grundwasser in der GWM H9 mit einem TDS_{calc} im Bereich von 4538 mg/l bis 5285 mg/l (Brackwasser). Aufgrund der Ionenverteilung lässt sich das Wasser der GWM H9 als Na-Cl-Wasser klassifizieren. Die Verteilung der Hauptionenkonzentrationen ist im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.22 gezeigt.

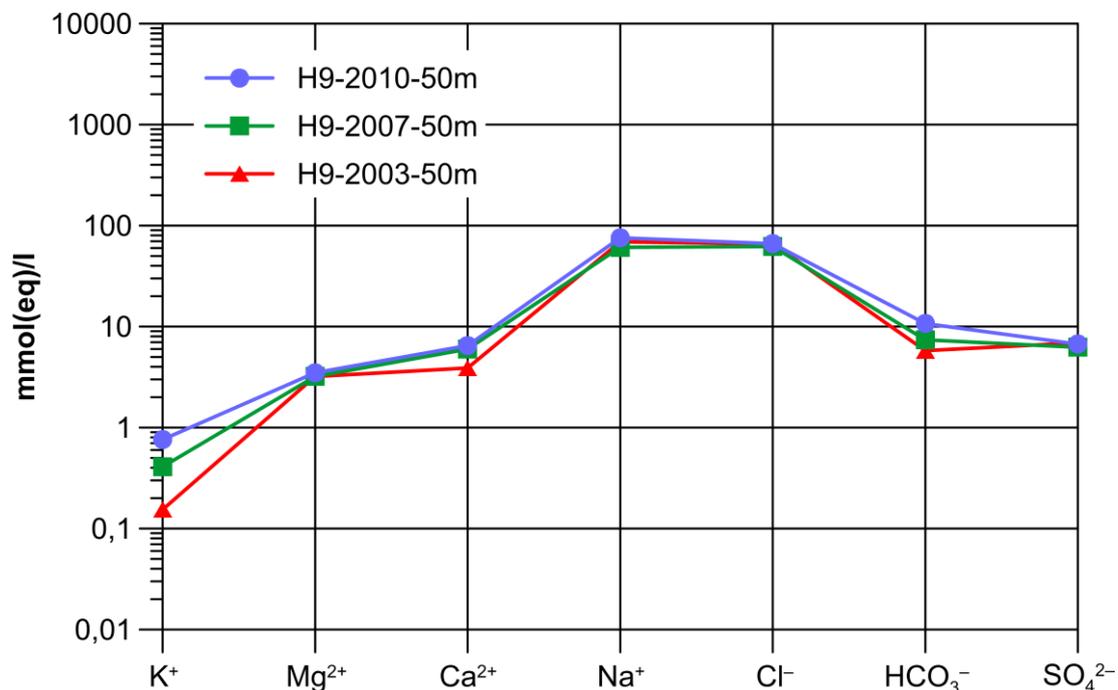


Abb. 8.22: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H9.

Die Konzentrationen der Begleitstoffe Nitrat und Ammonium sind sehr gering (max. 3 mg/l bzw. 1,4 mg/l). Die Spurenstoffe Sr, B, Br, I, Cr, Ni, Zn und Si, die für die Probe aus dem Jahr 2010 analysiert wurden, zeigen keine Werte die signifikant über der jeweiligen Nachweisgrenze bzw. dem geogenen Hintergrundwerte liegen. Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse lie-



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 290 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

gen zwischen 0,5 und 0,8, die Na/Cl-Verhältnisse um etwa 1, die Na/K-Verhältnisse zwischen 100 und 450 und das Cl/Br-Verhältnis bei Werten zwischen etwa 1130 und 1600.

Der Vergleich der hydrochemischen Daten der Jahre 2002 bis 2010 mit den Daten aus den Jahren 1976 bis 1996 aus den GSF-Jahresberichten sowie aus [GSF 1994], die eine plausible Ionenbilanz aufweisen, ergibt keinen signifikanten Unterschied in der GW-Beschaffenheit. Der berechnete TDS-Gehalt ist, bis auf eine etwas geringere Mineralisierung in den Jahren 1976 bis 1980, die wahrscheinlich den Einfluss der Bohrspülung in der 1972 errichteten GWM anzeigt, relativ konstant im Bereich von ca. 3000 mg/l bis 5000 mg/l und ist somit vergleichbar mit den Werten aus dem Zeitraum 2002 bis 2011. Die Hauptionenkonzentrationen zeigen zumeist ebenfalls ein Brackwasser vom Na-Cl-Typ an. Nur die Proben aus oberflächennäheren Abschnitten der GWM H9 zeigen teilweise etwas geringere TDS_{calc}-Werte (ca. 1400 mg/l) und deutlich höhere Mg, Ca und SO₄-Konzentrationen im Vergleich zu den Analysendatensätzen aus den tieferen Abschnitten.

8.2.5 Residualer Zechstein

GWM H5 (z3r, Scheitelbereich der Asse-Struktur)

Insgesamt liegen für die GWM H5 (Messpunkthöhe 188,21 mNN) 52 Analysendatensätze vor, davon 10 aus den Jahren 2002 bis 2011 (Tab. E.23 im Anhang) und 42 aus den Jahren 1976 bis 2001. Beprobte wurde zumeist in einer Tiefe von 115 m unter dem Messpunkt, nur zwei Proben erfassen den oberflächennahen Bereich mit einer Tiefe von 20 m. Darüber hinaus wurden zwei Probensätze als Referenzproben genommen, um die Ergebnisse des Labors AUA (H5-2007a-115m) mit denen des Labors K-UTEC (H5-2007b-115m) zu vergleichen. Beide Proben wurden im Abstand von wenigen Tagen in der gleichen Tiefe genommen.

Die Qualität der Analysendatensätze für die GWM H5 ist sehr unterschiedlich (Tab. E.23). Zwei der Proben (H5-2005-? und H5-2005-20m) waren unvollständig, da nur einige physikalisch-chemischen Parameter aber keine Hauptinhaltsstoffe bestimmt wurden. Diese Proben wurden deshalb bei der weiteren Betrachtung ausgeklammert. Bei den übrigen Proben weisen zwei einen Ionenbilanzfehler von genau bzw. etwas über 10 % auf (H5-2010-20m resp. H5-2006-115m), während sechs einen Fehler von <5 % zeigen. Der Vergleich der gemessenen mit den berechneten Werten für den TDS zeigt für die beiden Proben aus dem Jahr 2010 eine gute Übereinstimmung. Somit lassen sich sechs Analysendatensätze mit einem Ionenbilanzfehler <5 % für die GWM H5 als plausibel einordnen, die Proben H5-2010-20m sowie die Probe H5-2006-115m werden als fragwürdig erachtet und im Folgenden unter Vorbehalt dargestellt.

Die vor Ort bestimmten physikalisch-chemischen Parametern, wie z.B. Sauerstoffgehalt (zwischen 6 mg/l und 11 mg/l), Eh (zwischen -106 mV und 341 mV) und pH (um ca. 7), zeigen ein schwach reduzierendes bis oxidierendes Milieu und neutrale Verhältnisse an. Die spezifische elektrische Leitfähigkeit weist Werte von ca. 2000 µS/cm in 20 m Tiefe und bis zu 200 000 µS/cm in 115 m Tiefe der GWM auf.

Die im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.23 gezeigten Analysendatensätze zeigen zwei sehr unterschiedlich mineralisierte Grundwässer:



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 291 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- (i) für die (fragwürdige) Probe aus 20 m Tiefe ein gering mineralisiertes Grundwasser ($TDS_{lab} = 2560 \text{ mg/l}$) mit einer Dichte von $1,002 \text{ g/cm}^3$, das vom Ca-SO_4 -Typus ist und
- (ii) für die Proben aus 115 m Tiefe ein sehr stark mineralisiertes Grundwasser ($TDS_{lab} = 253560 \text{ mg/l}$) mit einer Dichte von $1,167 \text{ g/cm}^3$, das vom Na-Cl -Typus ist. Bei diesen Analysen sind zudem die hohen Mg -Gehalte von ca. 4300 mg/l bis 6000 mg/l hervorzuheben.

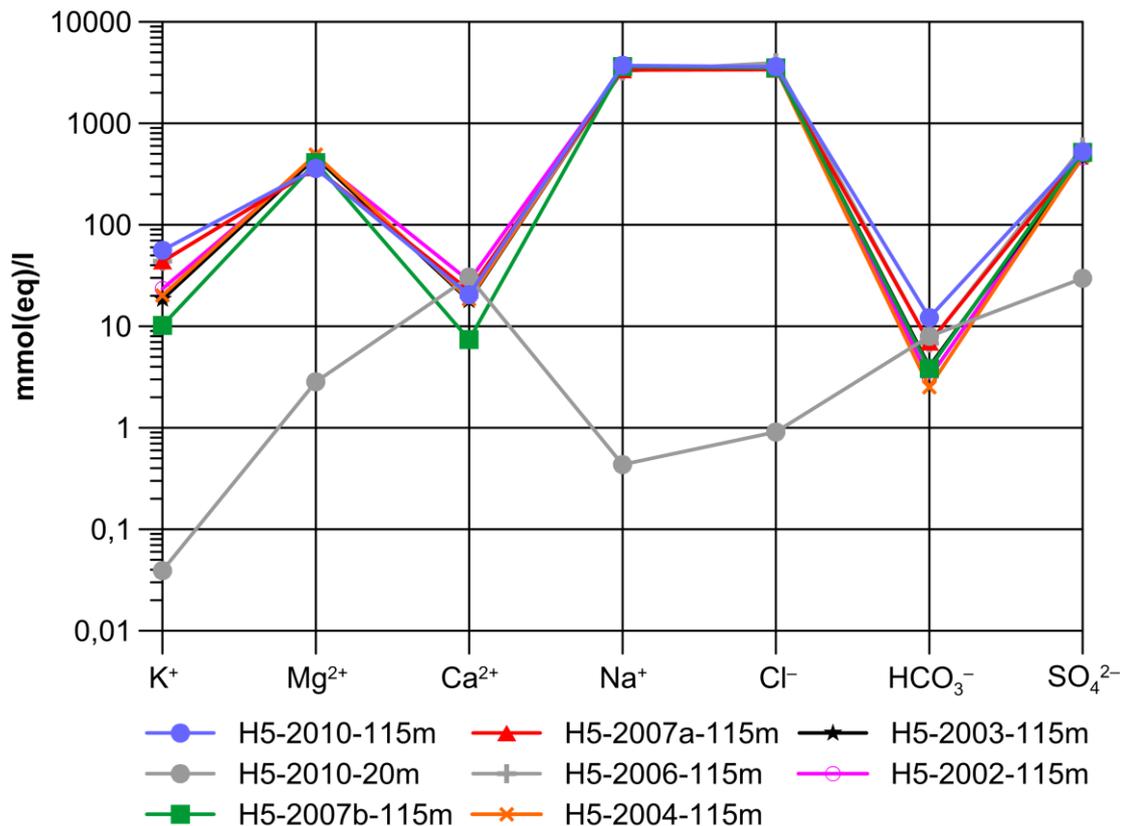


Abb. 8.23: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen $\text{mmol}(\text{eq})/\text{l}$) des Grundwassers in GWM H5. Die dunkelgrauen Probensymbole kennzeichnen die beiden Analysendatensätze mit Ionenbilanzfehlern zwischen 5 und 10 % die als fragwürdig eingestuft werden.

Bei den Begleitstoffen zeigen die Analysendatensätze der GWM H5 für die Jahre 2002 bis 2007 generell sehr geringe Nitratkonzentrationen ($<2 \text{ mg/l}$), nur in den beiden Proben aus dem Jahr 2010 ist der Nitratgehalt jeweils sehr hoch (63 mg/l für die Probe H5-2010-115 und 170 mg/l für die Probe H5-2010-20m). Einige Proben weisen zudem einen hohen Ammoniumgehalt von bis zu $6,1 \text{ mg/l}$ auf. Die Spurenstoffe zeigen für B (max. 310 mg/l nur bei 115 m), Br (bis 110 mg/l nur bei 115 m), Li (bis 262 mg/l nur bei 115 m), I und Sr (max. 16 mg/l) Werte, die signifikant über den geogenen Hintergrundwerten liegen. Die aus den $\text{mmol}(\text{eq})/\text{l}$ berechneten Mg/Ca -Verhältnisse liegen bei ca. 0,1 (20 m Tiefe) und Werten zwischen 16 und 55 (115 m), die Na/Cl -Verhältnisse bei ca. 0,5 (20 m) und etwa 1 (115 m), die Na/K -Verhältnisse bei ca. 11 (20 m) und zwischen 75 und



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 292 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

350 (115 m) und das Cl/Br bei Werten zwischen 1500 und 3600 (nur für die tiefere Probe bestimmt).

Im Vergleich der aktuellen mit den Analysendatensätzen aus den Jahren 1976 bis 2001 (Daten aus den GSF-Jahresberichten sowie aus [GSF 1994]), die eine plausible Ionenbilanz aufweisen, ergeben sich nur geringe Unterschiede in der hydrochemischen Charakteristik. Der berechnete TDS zeigt für die betrachteten Tiefenbereiche vergleichbare Wertebereiche, wenngleich sich in den ersten Beprobungsjahren nach 1976 ein etwas geringerer berechneter TDS zwischen 108 000 bis 115 000 mg/l für Tiefen von mehr als 100 m ergibt, der möglicherweise durch Einfluss von Bohrspülung begründet ist. Die Hauptionenkonzentrationen zeigen ebenfalls die obengenannte bimodale Verteilung von Ca-SO₄-HCO₃-Wässern in Tiefen bis ca. 50 m und Na-Cl-Wässern in den tieferen Abschnitten dieser GWM.

GWM H17 (Subrosionsgerinne am Salzspiegel)

Für die Salzspiegelbohrung GWM H17 (Messpunkthöhe 173,32 mNN) liegen insgesamt 54 Analysendatensätze vor. Davon stammen sechs aus den Jahren 2002 bis 2010 und 48 aus den Jahren 1976 bis 2001. Diese GWM wurde in den Jahren 2002 bis 2010 einheitlich in einer Tiefe von 228 m beprobt, Proben aus geringeren Tiefenlagen existieren nur für die Jahre vor 2002.

Die sechs betrachteten Analysendatensätze (Tab. E.24 im Anhang) weisen einen Ionenbilanzfehler von <5 % auf. Der Vergleich der berechneten mit den gemessenen TDS-Gehalten, der allerdings nur für eine Probe (H17-2010-228m) durchführbar ist, zeigt eine gute Übereinstimmung. Insgesamt lassen sich die Analysendaten für diese GWM als akzeptabel einstufen.

Die vor Ort bestimmten physikalisch-chemischen Parameter Sauerstoffgehalt (es liegt nur ein sehr hoher Messwert von 11,8 mg/l vor) und Eh (-25 mV bis 398 mV) zeigen ein schwach reduzierendes bis oxidierendes Milieu an. Der pH-Wert liegt mit 9,2 bis 9,7 deutlich im alkalischen Bereich. Die elektrische Leitfähigkeit ist mit 6300 µS/cm bis 7210 µS/cm gegenüber Süßwasser deutlich erhöht. Die Dichte liegt zwischen 1,002 g/cm³ bis 1,005 g/cm³.

Die Analysendatensätze zeigen mineralisierte Grundwässer in der GWM H17 mit einem TDS_{calc} zwischen ca. 5194 mg/l bis 6592 mg/l (Brackwasser). Aufgrund der Ionenverteilung ist das Wasser der GWM H17 zumeist vom Na-Ca-Cl-SO₄-Typ. Nur für die Probe H17-2007-228m ergibt sich eine leicht veränderte Typisierung als Ca-Na-Cl-HCO₃-Wasser. Auffällig ist bei allen Proben der sehr geringe HCO₃-Gehalt von weniger als 31 mg/l. Die Hauptionenkonzentrationen der Analysen 2002 bis 2011 sind zusammenfassend im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.24 dargestellt.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 293 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

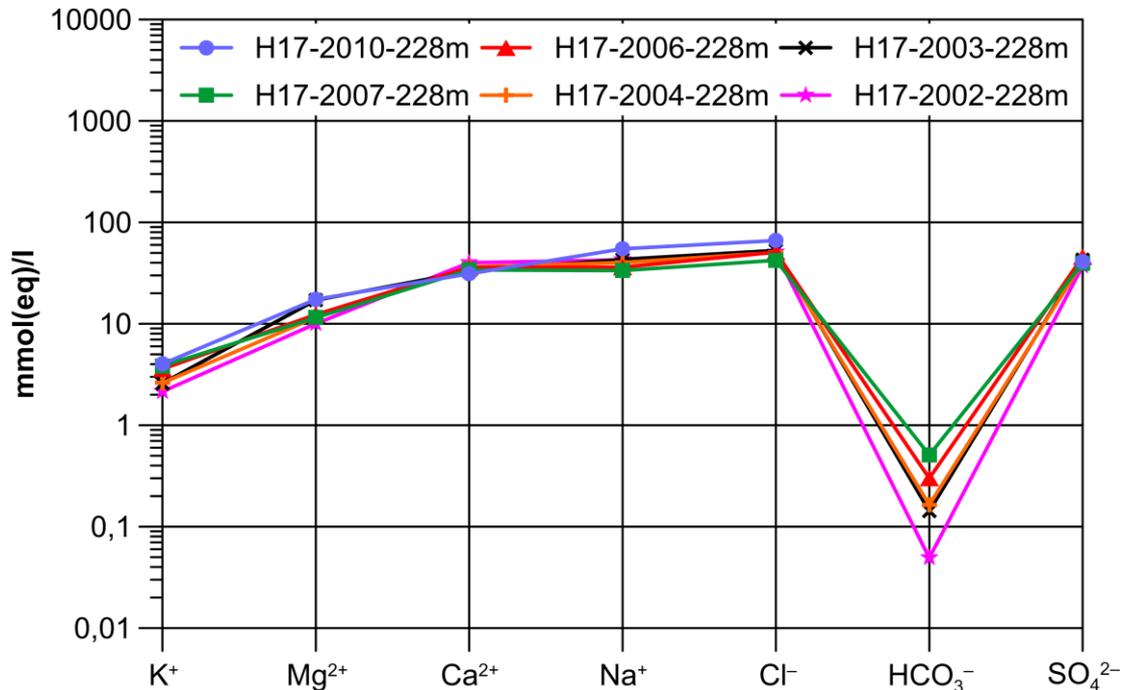


Abb. 8.24: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers in GWM H17.

Von den Begleitstoffen zeigen die Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen sehr niedrige Werte von zumeist deutlich unter 1 mg/l. Von den Spurenstoffen zeigen Sr (max. bis 12,8 mg/l), B (max. bis 3,1 mg/l) und Br (max. bis 6,7 mg) Wertebereiche, die zumeist deutlich über den geogenen Hintergrundwerten liegen. Die aus den mmol(eq)/l berechneten Mg/Ca-Verhältnisse liegen zwischen 0,3 und 0,6, die Na/Cl-Verhältnisse bei 0,7 bis 0,8, die Na/K-Verhältnisse zwischen 9 und 20 und die Cl/Br-Verhältnisse bei Werten zwischen etwa 600 und 2000.

Im Vergleich mit den Proben aus den Jahren 1976 bis 2001 (Daten aus den GSF-Jahresberichten sowie [GSF 1994]), die eine plausible Ionenbilanz aufweisen, ergibt sich generell eine relativ konsistente Mineralisierung und Verteilung der Hauptionenkonzentrationen für die meisten Analysendatensätze. Nur beim TDS zeigen sich signifikante Unterschiede. Der berechnete TDS liegt für die Proben vor 2002 im Bereich von 2863 mg/l bis 12 577 mg/l und zeigt somit einen deutlich größeren Wertebereich an, als die Proben aus den Jahren 2002 bis 2011. Die Hauptionenkonzentrationen weisen das Grundwasser ebenfalls überwiegend als ein Brackwasser des Na-Ca-Cl-SO₄-Typs aus. Für einen kleinen Teil der Proben, d.h. eine Probe aus dem Jahr 1976, jeweils drei Proben aus den Jahren 1982 und 1990 (Tiefe 229 m bis 230 m) sowie zwei Proben aus dem Jahr 1993 (Tiefe 220 m bis 230 m), zeigen die Analysendaten jedoch ein völlig anderes Bild: Der berechnete Lösungsrückstand ist mit einem Wertebereich von ca. 200 000 mg/l bis ca. 320 000 mg/l markant höher (Sole) und diese Wässer sind aufgrund der Verteilung der Hauptionenkonzentrationen als Na-Cl-Wässer einzustufen. Hervorzuheben sind hierbei die ungewöhnlich hohen Mg- und K-Gehalte. Diese Proben weisen im Vergleich zu den übrigen Analysendatensätzen auch deutlich höhere Br-Konzentrationen im Bereich von etwa 230 mg/l bis 250 mg/l auf. Der Li-Gehalt ist ebenfalls stark erhöht (bis max. 3,9 mg/l). Anhand der Angaben in [GSF 1994] wurde diese signifikante



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 294 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Veränderung des Chemismus erstmals 1982 bei den Probennahmen im Rahmen eines Pumpversuches beobachtet. Ob bei der Gewinnung der übrigen Proben, die diese von den normalen Konzentrationen stark abweichende GW-Beschaffenheit aufweisen, ebenfalls gepumpt wurde, ist aber unklar.

8.2.6 Quellen und Vorfluter

Für die Quellen und Vorfluter-Messstellen liegen aus dem Zeitraum 2002 bis 2011 zumeist nur wenige Analysendatensätze vor. Bis auf die Quellen M63 und M305, die jeweils Salzwasser vom Na-Cl-Typ führen, weisen die M-Messstellen i.W. gering mineralisiertes Brackwasser bzw. Süßwasser auf.

M17 (s, NE-Flanke)

Die Quelle M17 diente ehemals der Wasserversorgung von Groß Denkte und liegt etwa 500 m nordwestlich dieser Ortschaft nahe am Osterbach. Von der Quelle M17, die in Schichten des Buntsandstein entspringt, liegen insgesamt drei Analysendatensätze vor (Tab. E.25 im Anhang). Davon stammt jeweils einer dem Jahre 2010 bzw. 1989, einem dritten Analysendatensatz lässt sich kein Datum zuordnen.

Die Analyse aus dem Jahr 2010 weist einen unakzeptablen hohen Ionenbilanzfehler von ca. 16 % auf (Tab. E.25) und wird damit als fehlerhaft eingestuft, wobei der im Labor bestimmte und der berechnete TDS-Gehalt dabei eine gute Übereinstimmung aufweisen. Die Parameter dieser Probe werden im Folgenden unter Vorbehalt wiedergegeben, da ansonsten keine weiteren Analysendatensätze für diese Messstelle aus dem Zeitraum 2002 bis 2011 vorliegen.

Bei den vor Ort und im Labor bestimmten physikalisch-chemischen Parametern liegt der TDS der Probe aus 2010 bei ca. 1630 mg/l und der pH bei 7,2 (Labor: 7,24). Auffällig ist, dass der vor-Ort erhobene Eh-Wert von 505 mV im Vergleich zu dem im Labor gemessenen Wert mit 62 mV deutlich höher liegt. Eine Erklärung für diese Diskrepanz könnte ein Übertragungsfehler sein. Der O₂-Gehalt liegt bei 6,63 mg/l. Die LF hat einen Wert von 2440 µS/cm und die Dichte ist gegenüber Süßwasser mit 1,001 g/cm³ leicht erhöht.

Aufgrund des TDS-Gehaltes und der Konzentrationen der Hauptionen lässt sich das Wasser der Quelle M17 als Brackwasser vom Ca-Na-Cl-SO₄-HCO₃-Typ einstufen. Die Verteilung der Hauptionen ist im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.25 gezeigt.

Bei den Begleitstoffen zeigen sich keine gegenüber den geogenen Hintergrundwerten erhöhten Konzentrationen. Von den Spurenstoffen ist Sr (4 mg/l), B (0,6 mg/l), Br (3 mg/l) und I (2 mg/l) erhöht. Das aus den mmol(eq)/l berechnete Mg/Ca-Verhältnis liegt (unter Vorbehalt) bei ca. 0,1, das Na/Cl-Verhältnis bei ca. 0,8 und das Na/K-Verhältnis bei ca. 56. Das Cl/Br-Verhältnis liegt bei 283.

Im Vergleich zum Analysendatensatz aus dem Jahr 2010 ist nicht nur der TDS-Gehalt der Probe aus dem Jahr 1989 mit ca. 2600 mg/l deutlich höher. Auch die Konzentration der Hauptinhaltsstoffe ist unterschiedlich und führt zu einer Einstufung als Wasser vom Na-Cl-Typ.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 295 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

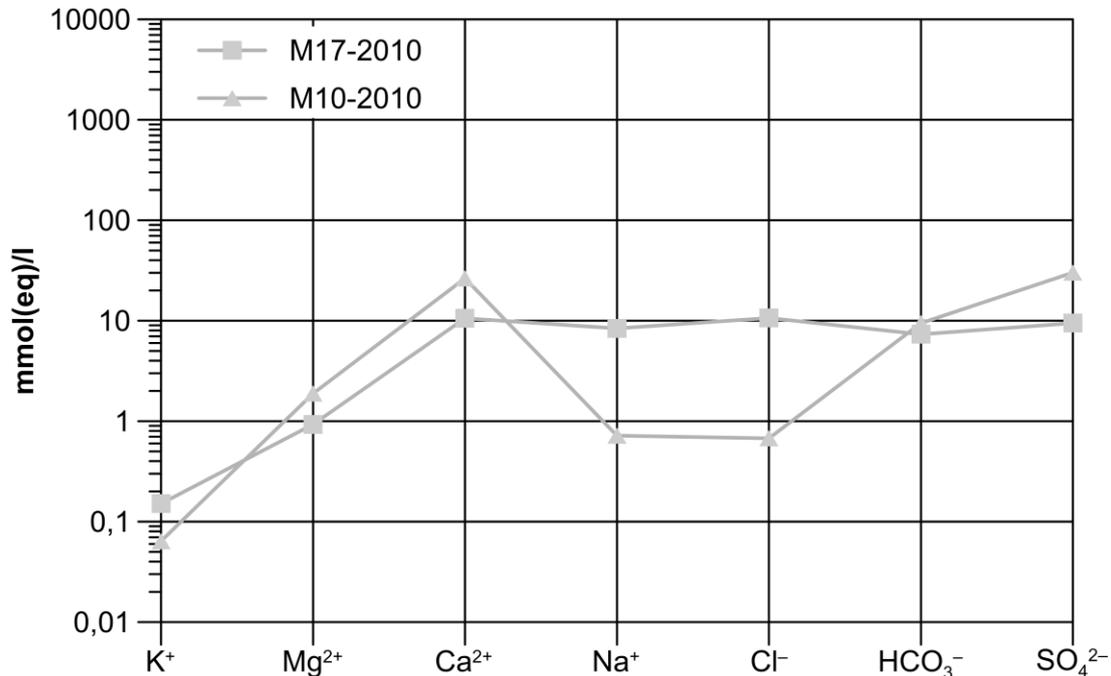


Abb. 8.25: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers aus den Quellen M17 (s) und M10 (so). Die hellgrauen Symbole kennzeichnen die fehlerhaften Analysendatensätze mit einem Ionenbilanzfehler >10 %.

M10 (so, NE-Flanke)

Für die Quelle M10, die aus den Schichten des Oberen Buntsandsteins in der NE-Flanke zwischen der nördlichen und mittleren Rippe austritt und den Rothebach speist, liegt nur ein Analysendatensatz aus dem Jahr 2010 (Tab. E.25 im Anhang) sowie jeweils ein Datensatz aus dem Jahr 1986 bzw. 1988 vor.

Der Ionenbilanzfehler der Analyse aus dem Jahr 2010 für die Quelle M10 liegt bei über 16 % und ist dementsprechend als fehlerhaft einzustufen. Angesichts der geringen Anzahl von Analysen werden im Folgenden die wesentlichen Ergebnisse vorbehaltlich der Analysenqualität dargestellt.

Bei den vor Ort und im Labor bestimmten physikalisch-chemischen Parametern liegt der TDS der Probe aus 2010 bei ca. 2550 mg/l, der pH bei 7,0, der Eh-Wert bei ca. 421 mV (im Labor: 513 mV) und der O₂-Gehalt bei 5 mg/l. Die LF hat einen Wert von 2680 µS/cm. Die Dichte ist gegenüber Süßwasser mit 1,002 g/cm³ leicht erhöht.

Aufgrund des TDS-Gehaltes und der Konzentrationen der Hauptionen lässt sich das Wasser der Quelle M10 als Brackwasser vom Ca-SO₄-HCO₃-Typ einstufen. Die Verteilung der Hauptionen ist im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.25 gezeigt. Bei den Begleit- und Spurenstoffen ist Ammonium (0,2 mg/l) sowie B (0,4 mg/l), I (7,4 mg/l) und Sr (8,6 mg/l) gegenüber den jeweiligen geogenen Hintergrundwerten erhöht.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 296 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Das aus den mmol(eq)/l berechnete Mg/Ca-Verhältnis liegt (unter Vorbehalt) bei 0,07, das Na/Cl-Verhältnis bei ca. 1 und das Na/K-Verhältnis bei ca. 11,2. Das Cl/Br-Verhältnis konnte mangels Br-Analysenwerten nicht bestimmt werden.

Im Vergleich zu der Analyse aus dem Jahr 2010 zeigen die Analysendatensätze aus dem Jahr 1986 und 1988 für die Quelle M10 nur geringe Unterschiede. Der Ionenbilanzfehler ist nur bei der Analyse aus dem Jahr 1988 akzeptabel (für 1986 fragwürdig). TDS dieser beiden Proben liegt mit 3650 mg/l bzw. 3860 mg/l etwas höher. Die Ionenkonzentrationen zeigen nur eine geringe Variabilität im Vergleich zu den hydrochemischen Daten aus dem Jahr 2010 und weisen ebenfalls ein Wasser vom Ca-SO₄-HCO₃-Typ aus.

M2 (*mu*, NE-Flanke)

Insgesamt stehen für die Messstelle M2, einer Quelle in der NE-Flanke der Asse-Struktur, die in der Diagonalstörung Groß Vahlberg aus den Schichten des Muschelkalk austritt, vier Analysendatensätze zur Verfügung (Tab. E.26 im Anhang), davon einer aus dem Jahr 2010 und drei aus den Jahren 1988 bis 1991.

Der Analysendatensatz aus dem Jahr 2010 weist einen inakzeptablen Ionenbilanzfehler von 11,2 % auf und wird damit als fehlerhaft eingestuft. Da keine weiteren Datensätze aus dem Zeitraum 2002 bis 2011 zur Verfügung stehen, werden die wesentlichen Ergebnisse im Folgenden unter Vorbehalt dargestellt.

Bei den vor Ort und im Labor bestimmten physikalisch-chemischen Parametern liegt der TDS der Probe aus 2010 bei ca. 2630 mg/l, der pH bei ca. 7, der Eh-Wert bei ca. 470 mV und der O₂-Gehalt bei ca. 5,9 mg/l. Hierbei ist hervorzuheben, dass der Eh-Wert im Labor (45 mV) um eine Größenordnung kleiner ist als der vor Ort gemessene Wert. Die LF hat einen Wert von 2760 µS/cm. Die Dichte ist gegenüber Süßwasser mit 1,002 g/cm³ leicht erhöht.

Angesichts des TDS-Gehaltes und der Konzentrationen der Hauptionen lässt sich das Wasser der Quelle M2 als Brackwasser vom Ca-SO₄-HCO₃-Typ einstufen. Die Verteilung der Hauptionen ist im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.26 gezeigt. Bei den Begleit- und Spurenstoffen ist Ammonium (0,1 mg/l) sowie Sr (9 mg/l) und Br (2 mg/l) gegenüber den jeweiligen geogenen Hintergrundkonzentrationen erhöht. Das aus den mmol(eq)/l berechnete Mg/Ca-Verhältnis liegt (unter Vorbehalt) bei 0,04, das Na/Cl-Verhältnis bei 0,62 und das Na/K-Verhältnis bei 11,4. Das Cl/Br-Verhältnis von 77 ist ungewöhnlich niedrig.

Im Vergleich zu der Analyse aus dem Jahr 2010 zeigen die Analysendatensätze von 1988, 1990 und 1991 für die Quelle M2 nur geringe Änderungen, wobei einschränkend anzumerken ist, dass der Ionenbilanzfehler zwischen 5 % und 10 % bzw. über 10 % lag und bei den Analysen von 1990 und 1991 der HCO₃-Gehalt nicht bestimmt wurde. Der TDS der Proben aus den Jahren 1988 bis 1991 ist sehr konstant zwischen 2260 mg/l und 2400 mg/l. Die Ionenkonzentrationen zeigen nur eine geringe Variabilität im Vergleich zu den hydrochemischen Daten aus dem Jahr 2010 und lassen sich ebenfalls als Ca-SO₄-Wasser mit hohem HCO₃-Anteil (1988) einstufen.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 297 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

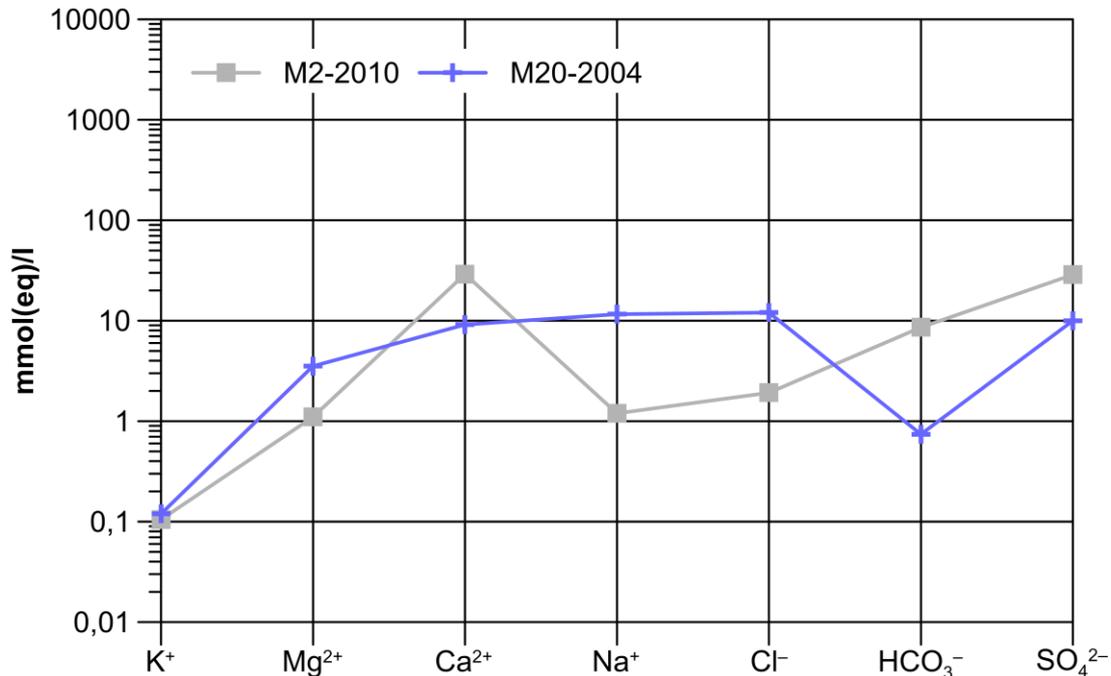


Abb. 8.26: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers aus den Quellen M2 (*mu*) und M20 (*mu*). Die hellgrauen Symbole kennzeichnen den fehlerhaften Analysendatensatz mit einem Ionenbilanzfehler >10 %.

M20 (*mu*, westliches Ende der Asse-Struktur)

Für die Quelle M20, die eine der schüttungsreichsten Quellen des Asse-Höhenzuges darstellt (der Mittelwert der Abflussrate liegt bei 0,94 l/s [Colenco 2006]) und aus Schichten des Unteren Muschelkalk am Strukturende nordöstlich von Groß Denkte entspringt, liegen insgesamt acht Analysendatensätze vor (Tab. E.26 im Anhang), davon zwei aus den Jahren 2004 und 2010 und sechs aus den Jahren 1988 bis 1990.

Die Analyse aus dem Jahr 2010 weist einen unakzeptablen Ionenbilanzfehler von 18,4 % aus. Im Folgenden wird deshalb auf den Analysendatensatz aus dem Jahr 2004 eingegangen, der einen akzeptablen Ionenbilanzfehler von 2,7 % aufweist. Während bei der Analyse aus dem Jahr 2010 der TDS_{calc} sehr gut zum vor Ort bestimmten TDS-Gehalt passt, ergibt sich für die Analyse aus dem Jahr 2004 ein etwas geringerer TDS_{calc} .

Bei den vor Ort und im Labor bestimmten physikalisch-chemischen Parametern liegt der TDS der Probe aus 2004 bei 1700 mg/l. Der pH-Wert liegt bei 7,4 und der Eh-Wert bei 486 mV. Der O₂-Gehalt wurde für die Probe aus dem Jahr 2004 nicht bestimmt, bei der (fehlerhaften) Probe aus 2010 liegt er bei 6,63 mg/l. Die LF hat einen Wert von 2620 μ S/cm und die Dichte ist gegenüber Süßwasser mit 1,001 g/cm³ leicht erhöht.

Aufgrund des TDS-Gehaltes und der Konzentrationen der Hauptionen lässt sich das Wasser der Quelle M20 als Brackwasser vom Na-Ca-Cl-SO₄-Typ einstufen. Die Verteilung der Hauptionen ist im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.26 gezeigt. Bei den Begleitstoffen zeigen sich keine gegenüber



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 298 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

den geogenen Hintergrundwerten erhöhten Konzentrationen. Von den Spurenstoffen ist nur Sr (16,5 mg/l) erhöht. Das für die Probe aus dem Jahr 2004 aus den mmol(eq)/l berechnete Mg/Ca-Verhältnis liegt bei ca. 0,4, das Na/Cl-Verhältnis bei ca. 1 und das Na/K-Verhältnis bei ca. 97.

In Bezug auf die zeitlichen Änderungen der Grundwasserbeschaffenheit zeigen die sechs Analysen aus den Jahren 1988 bis 1990, die einen akzeptablen Ionenbilanzfehler aufweisen, ein Na-Ca-Cl-SO₄-HCO₃-Wasser mit einem TDS_{calc} zwischen ca. 1530 mg/l und 1730 mg/l. Dieser Wertebereich ist vergleichbar zu den hydrochemischen Daten der Jahre 2004 (und 2010). Hervorzuheben ist zudem ein Anstieg der LF der Quelle M20 mit zunehmender Quellschüttung [Colenco 2006].

M15 (mm, SW-Flanke)

Von der Quelle M15, die östlich von Groß Denkte liegt und aus den Schichten des Mittleren Muschelkalk der Südwestflanke entspringt, stehen fünf Analysendatensätze zur Verfügung (Tab. E.26 im Anhang). Davon stammen zwei aus den Jahren 2004 und 2010 sowie drei aus den Jahren 1988 bis 1990.

Während der Analysendatensatz aus dem Jahr 2004 einen akzeptablen Ionenbilanzfehler aufweist, ist die Analyse aus dem Jahr 2010 mit einem Wert von 24 % als fehlerhaft einzustufen. Die Unterschiede zwischen dem gemessenen und berechneten TDS-Gehalt sind allerdings für beide Proben gering. Auffällig ist der niedrige Mg-Gehalt (12 mg/l) der Probe aus dem Jahr 2010, der deutlich unter dem Mg-Gehalt der übrigen Analysendatensätze liegt (33 mg/l bis 53 mg/l).

Bei den vor Ort und im Labor bestimmten physikalisch-chemischen Parametern liegt der TDS-Gehalt der Probe aus 2004 bei ca. 1000 mg/l und der pH bei 7,3 (Labor: pH 7). Auffällig ist, dass der vor-Ort erhobene Eh-Wert von 467 mV im Vergleich zu dem im Labor gemessenen Wert mit 39 mV, deutlich höher liegt. Eine Erklärung für diese Diskrepanz könnte ein Übertragungsfehler sein. Der O₂-Gehalt liegt bei 5,48 mg/l. Die LF hat einen Wert von 1274 µS/cm. Die Dichte ist gegenüber Süßwasser mit 1,001 g/cm³ leicht erhöht.

Aufgrund des TDS-Gehaltes und der Konzentrationen der Hauptionen lässt sich das Wasser der Quelle M15 als Süßwasser vom Ca-Mg-SO₄-HCO₃-Typ einstufen. Die Verteilung der Hauptionen ist im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.27 gezeigt. Bei den Begleit- und Spurenstoffen ist Nitrat (40,8 mg/l) sowie Br (1 mg/l), B (0,2 mg/l) und Sr (12,1 mg/l) gegenüber den jeweiligen geogenen Hintergrundwerten erhöht. Das aus den mmol(eq)/l berechnete Mg/Ca-Verhältnis liegt bei ca. 0,5, das Na/Cl-Verhältnis bei ca. 0,7 und das Na/K-Verhältnis bei ca. 8. Das Cl/Br-Verhältnis konnte in Ermangelung von Br-Analysenwerten nicht bestimmt werden.

Für den Zeitraum vor 2004 liegt für die Quelle M15 nur eine Analyse mit einem akzeptablen Ionenbilanzfehler aus dem Jahr 1989 vor; die übrigen Analysen sind aufgrund des Ionenbilanzfehlers entweder fragwürdig (1988) oder fehlerhaft (1990, bei dieser Probe wurde kein HCO₃ bestimmt). Insgesamt weisen die Ionenkonzentrationen der Analyse aus dem Jahr 1989 nur geringe Unterschiede zu den hydrochemischen Daten aus dem Jahr 2004 auf und zeigen ebenfalls ein Wasser vom Ca-Mg-SO₄-HCO₃-Typ an.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 299 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

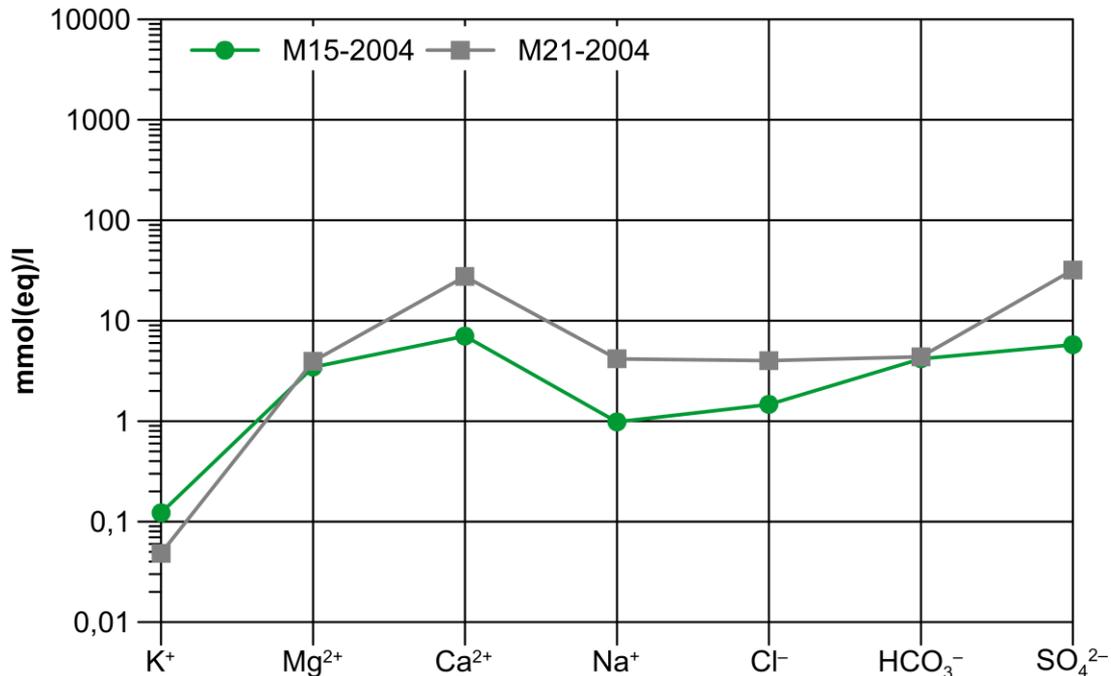


Abb. 8.27: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers aus den Quellen M15 (*mm*) und M21 (*mm*). Die dunkelgrauen Probensymbole kennzeichnen den als fragwürdig eingestuft Analysendatensatz mit einem Ionenbilanzfehler zwischen 5 und 10 %.

M21 (*mm*)

Für die Quelle M21, die ca. 700 m nordöstlich von Groß Denkte nahe des Falkenheims gelegen ist und aus Schichten des Mittleren Muschelkalk entspringt, liegen insgesamt sechs Analysendatensätze vor (Tab. E.26 im Anhang), davon zwei aus den Jahren 2004 und 2010 und vier aus den Jahren 1988 bis 1990.

Der Ionenbilanzfehler der Analyse aus dem Jahr 2004 ist fragwürdig (6,3 %) und wird unter Vorbehalt dargestellt, während die Analyse aus dem Jahr 2010 fehlerhaft ist (13,3 %), und somit von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen wird. Für die Probe aus dem Jahr 2004 liegt der im Labor bestimmte TDS von 2890 mg/l etwas über dem aus den Ionenkonzentrationen berechneten Wert von 2665 mg/l.

Bei den vor Ort und im Labor bestimmten physikalisch-chemischen Parametern liegen der pH-Wert bei 7,5 und der Eh-Wert bei 452 mV. Der O₂-Gehalt wurde für die Probe aus dem Jahr 2004 nicht bestimmt, bei der (fehlerhaften) Probe aus 2010 liegt er bei 5,13 mg/l. Die LF hat einen Wert von 2730 µS/cm und die Dichte ist gegenüber Süßwasser mit 1,001 g/cm³ leicht erhöht.

Aufgrund des TDS-Gehaltes und der Konzentrationen der Hauptionen lässt sich das Wasser der Quelle M21 als Brackwasser vom Ca-SO₄-Typ einstufen. Die Verteilung der Hauptionen ist im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.27 gezeigt. Für die fehlerhafte Probe aus dem Jahr 2010 ergibt sich bedingt durch die deutlich höhere HCO₃-Konzentration und die leicht veränderte Hauptionenkon-



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 300 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

zentration eine Einstufung als Ca-SO₄-HCO₃. Bei den Begleitstoffen zeigen sich keine gegenüber den geogenen Hintergrundwerten erhöhten Konzentrationen. Von den Spurenstoffen ist nur Sr (11,6 mg/l) erhöht. Hervorzuheben ist hier für die fehlerhafte Probe aus dem Jahr 2010 der erhöhte Ammonium-Gehalt (0,3 mg/l) und der sehr hohe und nicht plausible F-Gehalt von 352 mg/l. Das für die Probe aus dem Jahr 2004 aus den mmol(eq)/l berechnete Mg/Ca-Verhältnis liegt bei ca. 0,1, das Na/Cl-Verhältnis bei ca. 1 und das Na/K-Verhältnis bei ca. 86. Das Cl/Br-Verhältnis liegt bei 243.

Alle vier Analysen aus den Jahren 1988 bis 1990 weisen akzeptable Ionenbilanzen auf und zeigen ein Grundwasser mit einem TDS_{calc} zwischen ca. 2000 mg/l und 2400 mg/l vom Ca-SO₄-Typus, das vergleichbar zu den hydrochemischen Daten der Jahre 2004 und 2010 ist.

M63 (su/z)

Für die Quelle M63 im Bleier Graben nordöstlich von Groß Denkte, die stark mineralisiertes Grundwasser führt („Salzquelle“), liegen insgesamt 13 Analysendatensätze vor (Tab. E.27 im Anhang). Davon stammen vier aus den Jahren 2003 bis 2010 und neun aus den Jahren 1976 bis 1990.

Alle vier Analysendatensätze der Quelle M63 aus den Jahren 2003 bis 2010 weisen einen Ionenbilanzfehler von weniger als 2 % auf und sind somit akzeptabel. Diese Einstufung wird gestützt durch die relativ gute Übereinstimmung der im Labor bestimmten TDS-Werte (zw. 83 100 mg/l und 98 030 mg/l) mit den aus den Ionenkonzentrationen berechneten Werten (zw. 77 192 mg/l und 95 497 mg/l).

Von den physikalisch-chemischen Parametern liegen die pH-Werte (Labor) zwischen 6,7 und 7,7 und die Eh-Werte (Labor) zwischen 356 mV und 509 mV. Der O₂-Gehalt wurde für die Proben aus dem Jahr 2003 nicht bestimmt, bei der Probe aus 2010 liegt er bei 8,06 mg/l. Die LF zeigt Werte zwischen 107 500 µS/cm und 123 900 µS/cm. Die Dichte ist gegenüber Süßwasser mit Werten zwischen 1,055 g/cm³ bis 1,066 g/cm³ deutlich erhöht.

Entsprechend der TDS-Gehalte und der im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.28 gezeigten Verteilung der Hauptionenkonzentrationen werden alle Proben als Salzwasser vom Na-Cl-Typ eingestuft. Die Verteilung der Hauptionenkonzentrationen ist für den betrachteten Zeitraum relativ konstant. Bei den Begleitstoffen ist nur Ammonium mit 0,4 mg/l in der Probe aus 2004 erhöht, während Nitrat weniger als 10 mg/l aufweist. Von den Spurenstoffen ist Li (max. 0,6 mg/l), Sr (max. 15,6 mg/l), Br (max. 53 mg/l) sowie Zn (6,93 mg/l; nur in 2010 bestimmt) gegenüber den geogenen Hintergrundkonzentrationen erhöht. Das aus den mmol(eq)/l berechnete Mg/Ca-Verhältnis liegt zwischen ca. 0,8 und 1,3, das Na/Cl-Verhältnis bei ca. 1 und das Na/K-Verhältnis zwischen ca. 80 und 100. Das Cl/Br-Verhältnis liegt zwischen 2100 und 3400.

Die Proben aus den Jahren 1976 bis 1990 weisen eine gegenüber den Proben aus den Jahren 2003 bis 2010 sehr ähnlich Hauptionenverteilung auf (Wasser vom Na-Cl-Typus). Dahingegen ist die Gesamtmineralisation insgesamt in den älteren Proben deutlich höher (TDS_{calc} bis zu 150 000 mg/l). Dies zeigt sich auch in höheren Dichtewerten (zumeist im Bereich von 1,080 g/cm³). Schüttungsmessungen an der Quelle M63, die notwendig wären um mögliche Verdünnungseffekte



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 301 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

zu detektieren, liegen für den betrachteten Zeitraum jedoch nicht vor. Somit ist es im Rahmen dieses Berichts nicht möglich diese Abnahme der Mineralisierung für die Quelle M63 zu evaluieren.

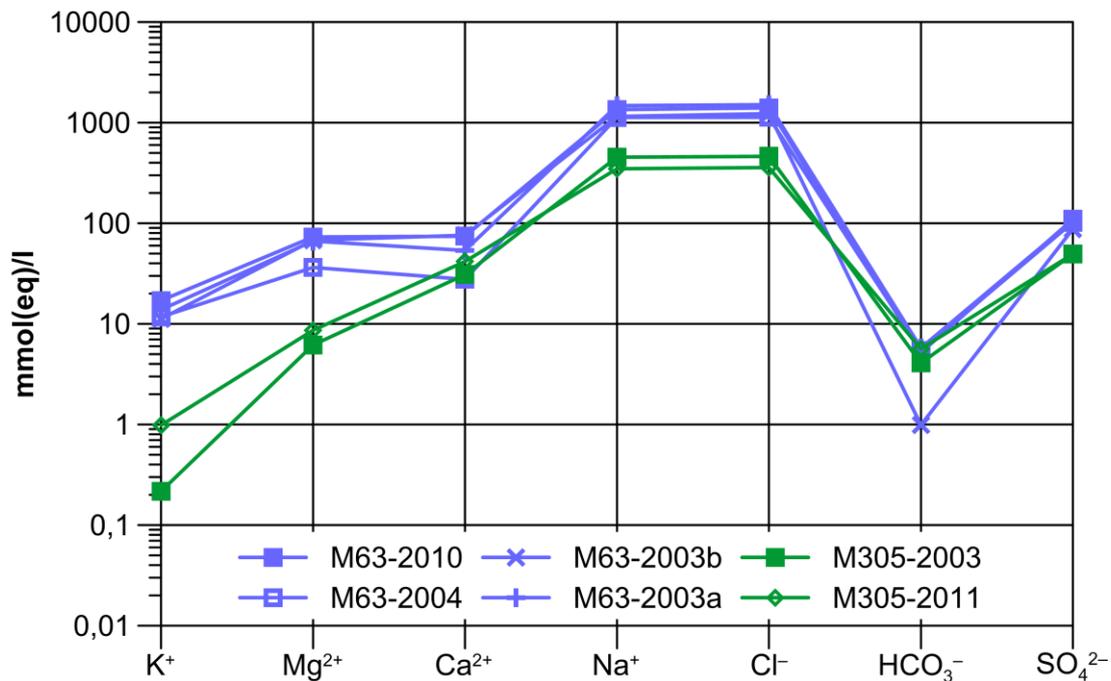


Abb. 8.28: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Grundwassers aus den Quellen M63 (su/z) und M305 (su/z).

M305 (su/z)

Für die zwischen Barnstorf und Watenstedt am Ostende der Asse-Struktur gelegene Quelle M305, die ähnlich wie die Quelle M63 stark mineralisiertes Grundwasser („Salzquelle“) führt, liegen insgesamt zwei Analysendatensätze aus den Jahren 2003 und 2011 vor (Tab. E.27 im Anhang).

Die beiden Analysendatensätze für die Quelle M305 weisen einen mit weniger als 2,5 % akzeptablen Ionenbilanzfehler auf. Die für die Probe aus dem Jahr 2011 im Labor bestimmte TDS-Gehalt (23 400 mg/l) weist ebenfalls eine gute Übereinstimmung mit dem aus den Ionenkonzentrationen berechnetem Wert (24 432 mg/l) auf.

Bei den physikalisch-chemischen Parametern liegt der vor-Ort bestimmte pH-Wert bei 7,5 (2003) bzw. 6,8 (2011) und der Eh-Wert bei 479 mV (2003) und -13 mV (2011); für die letztere Probe wurde im Labor ein Eh-Wert von 400 bestimmt. Der O₂-Gehalt wurde für die Probe aus dem Jahr 2003 nicht bestimmt, bei der Probe aus dem Jahr 2011 liegt er bei sehr niedrigen 0,27 mg/l. Die LF zeigt Werte von 47 100 µS/cm (2003) bzw. 39 700 µS/cm (2011). Die Dichte ist gegenüber Süßwasser mit Werten von 1,022 g/cm³ (2003) bzw. 1,018 g/cm³ (2011) deutlich erhöht. Auffällig ist die mit 18,7 °C relativ hohe Wassertemperatur bei den beiden Probennahmekampagnen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 302 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Entsprechend der TDS-Gehalte und der im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.28 gezeigten Verteilung der Hauptionenkonzentrationen werden alle Proben der Quelle M305 als Salzwasser vom Na-Cl-Typ eingestuft. Die Verteilung der Hauptionenkonzentrationen ist für die beiden Proben relativ konsistent. Bei den Begleitstoffen ist nur Ammonium mit 0,3 mg/l in der Probe aus 2011 erhöht; Nitratgehalte wurden nicht bestimmt. Von den nur für die Probe aus dem Jahr 2011 bestimmten Spurenstoffen ist Li (0,19 mg/l), Sr (14,1 mg/l), Br (7 mg/l) sowie F (0,545 mg/l) gegenüber den gegebenen Hintergrundkonzentrationen erhöht. Das aus den mmol(eq)/l berechnete Mg/Ca-Verhältnis liegt bei ca. 0,2, das Na/Cl-Verhältnis bei ca. 1 und das Na/K-Verhältnis bei ca. 2090 (2003) bzw. 350 (2011). Das Cl/Br-Verhältnis liegt bei 6160 (2003) bzw. 4090 (2011).

M25 (Rothebach in Wittmar)

Für die Vorfluter-Messstelle M25, die am Oberlauf des Rothebachs am nordöstlichen Ortsrand von Wittmar gelegen ist, liegen insgesamt fünf Analysendatensätze vor (Tab. E.27 im Anhang). Davon stammen drei aus den Jahren 2003 und 2010 und jeweils eine aus 1988 und 1999.

Der Ionenbilanzfehler der beiden Analysen aus dem Jahr 2003 ist akzeptabel (3,5 % bzw. 3,8 %), während die Analyse aus dem Jahr 2010 fehlerhaft ist (16,5 %) und somit von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen wird. Für die Proben aus dem Jahr 2003 liegt der im Labor bestimmte TDS von 2340 mg/l bzw. 2475 mg/l etwas über dem aus den Ionenkonzentrationen berechneten Wert von 2191 mg/l bzw. 2240 mg/l.

Bei den vor Ort und im Labor bestimmten physikalisch-chemischen Parametern liegen der pH-Wert bei 7,9 und der Eh-Wert bei 429 mV bzw. 494 mV. Für die fehlerhafte Probe aus dem Jahr 2010 ergibt sich wie bei einigen weiteren M-Messstellen wiederum ein sehr geringer Eh-Wert von 86 mV im Vergleich zu dem vor-Ort bestimmten Wert von 406 mV. Eine Erklärung für diese Diskrepanz könnte ein Übertragungsfehler sein. Der O₂-Gehalt wurde für die Proben aus dem Jahr 2003 nicht bestimmt, bei der Probe aus 2010 liegt er bei 7,84 mg/l. Die LF hat einen Wert von 3130 µS/cm bzw. 3200 µS/cm und die Dichte ist gegenüber Süßwasser mit 1,002 g/cm³ leicht erhöht.

Beide Proben aus dem Jahr 2003 sind entsprechend dem TDS-Gehalt als Brackwasser vom Ca-Mg-Na-SO₄-Cl-Typ mit relativ konsistenter Hauptionenzusammensetzung einzustufen. Die fehlerhafte Probe aus dem Jahr 2010 weicht deutlich davon ab (Ca-Na-SO₄-Cl-HCO₃). Die Verteilung der Hauptionenkonzentrationen ist im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.31 gezeigt.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 303 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

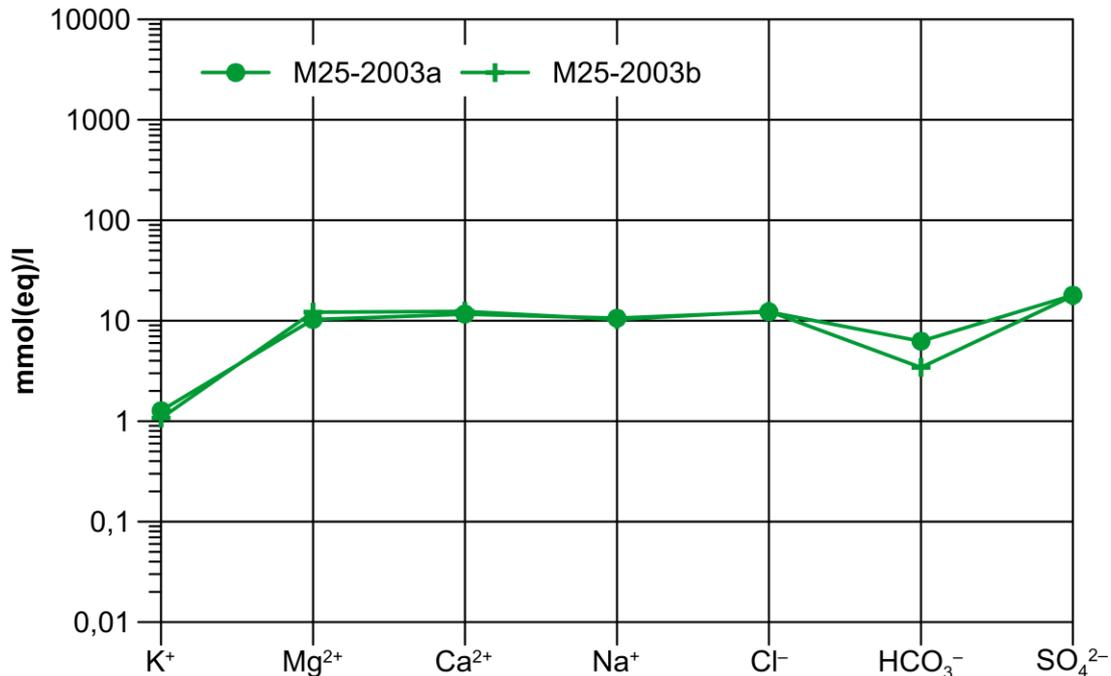


Abb. 8.29: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Wassers aus der Vorfluter-Messstelle M25 (Rothebach).

Bei den Begleitstoffen zeigen sich keine gegenüber den geogenen Hintergrundwerten erhöhten Konzentrationen. Von den Spurenstoffen sind B (1,5 mg/l) und Sr (4,4 mg/l) erhöht. Die fehlerhafte Probe aus dem Jahr 2010 weist zudem noch einen erhöhten I-Gehalt von 17 mg/l auf. Das für die Probe aus dem Jahr 2004 aus den mmol(eq)/l berechnete Mg/Ca-Verhältnis liegt bei ca. 0,9 bzw. 1, das Na/Cl-Verhältnis bei ca. 0,9 und das Na/K-Verhältnis bei 8,3 bzw. 9,6.

Die beiden Analysen aus dem Jahr 1988 und 1999 zeigen ein Grundwasser mit einem TDS_{calc} zwischen ca. 2000 mg/l und 2400 mg/l vom Ca-Mg-Na-SO₄-Cl-Typ, das vergleichbar zu den hydrochemischen Daten von 2003 ist.

M401 (Ammerbeek nördlich Remlingen)

Für die Vorfluter-Messstelle M401, die an der Ammerbeek nördlich von Remlingen gelegen ist, liegt nur ein Analysendatensatz aus dem Jahr 2010 vor (Tab. E.28 im Anhang).

Der Analysendatensatz (Probe M401-2010) weist einen sehr hohen Ionenbilanzfehler von 24,8 % auf und wird deshalb als fehlerhaft eingestuft und von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Da keine weiteren Analysendaten für diese Messstelle vorliegen, werden die wichtigsten Ergebnisse dieser Probe im Folgenden daher unter Vorbehalt dargestellt. Anzumerken ist, dass der für diese Probe im Labor bestimmte TDS-Gehalt (1192 mg/l) eine sehr gute Übereinstimmung mit dem aus den Ionenkonzentrationen berechnetem Wert von 1229 mg/l aufweist.

Bei den physikalisch-chemischen Parametern liegt der vor-Ort bestimmte pH-Wert bei 7,1 und der Eh-Wert bei 485 mV. Es ergibt sich, wie bei einigen anderen M-Messstellen auch, wiederum ein



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 304 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

sehr geringer Labor-Eh-Wert (45 mV) im Vergleich zum vor-Ort gewonnenen Wert. Eine Erklärung für diese Diskrepanz könnte ein Übertragungsfehler sein. Der O₂-Gehalt liegt bei 7,33 mg/l. Die LF zeigt einen Wert von 1400 µS/cm und die Dichte liegt bei 1,001 g/cm³.

Entsprechend dem TDS-Gehalt und der Verteilung der Hauptionen ist das Wasser der Vorfluter-Messstelle M401 als Brackwasser vom Ca-HCO₃-SO₄-Typ einzustufen. Die Verteilung der Hauptionen ist im Schoeller-Diagramm in Abb. 8.30 gezeigt.

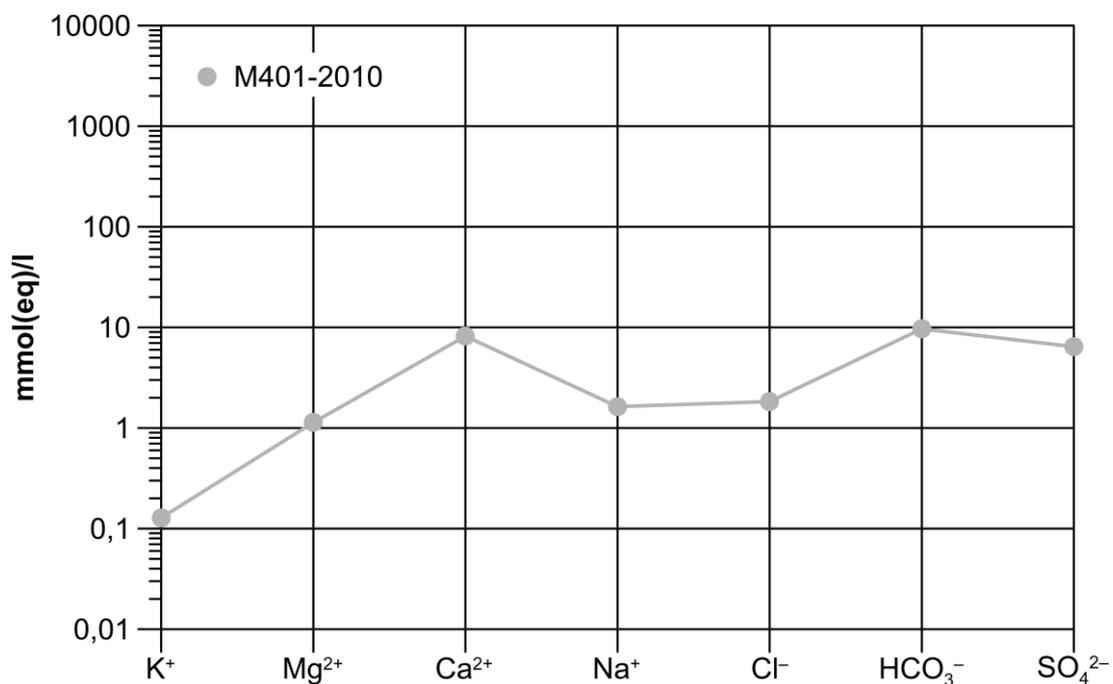


Abb. 8.30: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Wassers aus der Vorfluter-Messstelle M401 (Ammerbeek). Die hellgrauen Symbole kennzeichnen den fehlerhaften Analysendatensatz mit einem Ionenbilanzfehler >10 %.

Bei den Begleitstoffen ist nur Ammonium mit 0,1 mg/l etwas erhöht, der Nitratgehalt liegt bei 28 mg/l. Von den Spurenstoffen sind Sr (2 mg/l), B (0,5 mg/l), Br (1 mg/l) und I (2 mg/l) gegenüber den geogenen Hintergrundwerten etwas erhöht. Das aus den mmol(eq)/l berechnete Mg/Ca-Verhältnis liegt bei ca. 0,1, das Na/Cl-Verhältnis bei ca. 0,91 und das Na/K-Verhältnis bei ca. 12,7. Das Cl/Br-Verhältnis liegt bei 147.

Fischteich bei Wittmar (Zufluss und Gewässer)

Der Fischteich wurde nur in der letzten Beprobungskampagne 2010/11 beprobt, somit liegt nur jeweils ein Analysendatensatz für eine Probe aus dem Zulauf am nordöstlichen Ufer des Teichs und einer für das Gewässer vor (Tab. E.28 im Anhang).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 305 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Für die beiden Wasserproben des Fischteiches liegen keine physikalisch-chemischen vor-Ort-Parameter vor, weiterhin wurde für die Probe aus dem Gewässer kein Hydrogenkarbonat bestimmt. Der Ionenbilanzfehler der Probe aus dem Gewässerzulauf ist mit 18,4 % sehr hoch. Somit sind beide Proben als unvollständig bzw. fehlerhaft einzustufen. Da keine weiteren Analysendaten für dieses Gewässer vorliegen, werden die wichtigsten Ergebnisse im Folgenden daher unter Vorbehalt dargestellt.

Der TDS-Gehalt im Zulauf ist mit 2592 mg/l deutlich höher als der im Gewässer bestimmte Wert (1596 mg/l). Aufgrund der Mineralisierung und der Konzentration der Hauptionen ist es als Brackwasser vom Ca-Na-SO₄-Cl-HCO₃-Typ einzustufen.

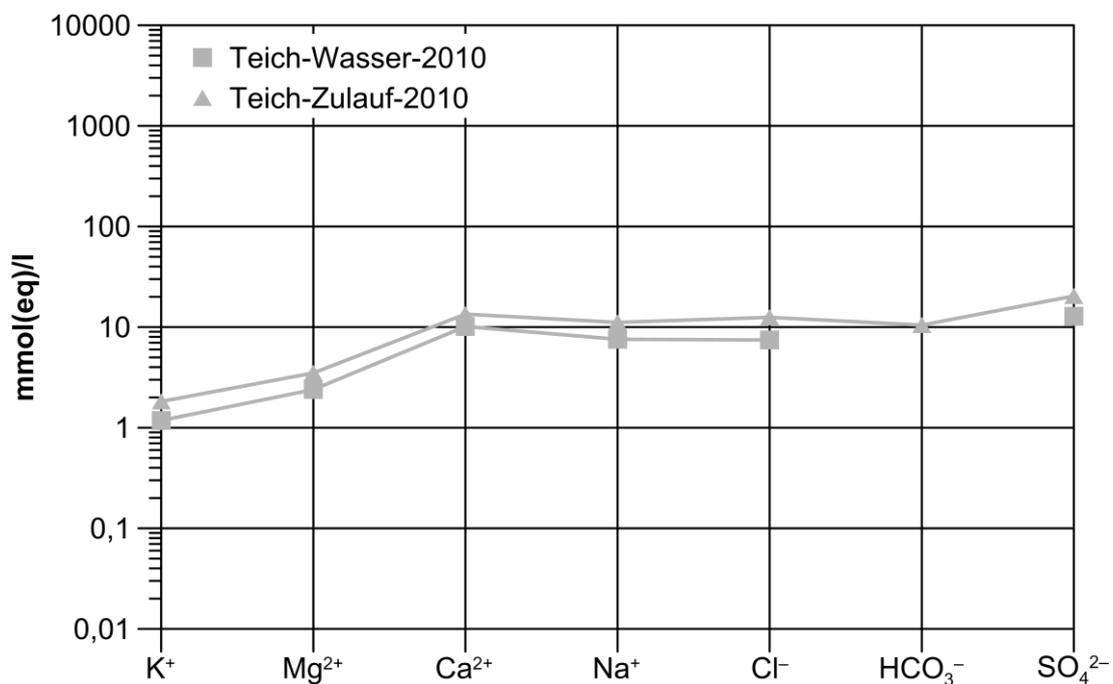


Abb. 8.31: Schoeller-Diagramm der Hauptinhaltsstoffe (Äquivalentkonzentrationen mmol(eq)/l) des Wassers aus dem Fischteich bei Wittmar. Die hellgrauen Symbole kennzeichnen die fehlerhaften Analysendatensätze mit einem Ionenbilanzfehler >10 %.

8.3 GELÖSTE GASE

Die in den Grundwässern des Asse-Deckgebirges gelösten Gase wurden im Rahmen der Beprobungskampagne 2010/11 analysiert. Ein Ziel war die Bestimmung des Methangehaltes, dessen Konzentration u.a. Auskunft über Redoxprozesse im Grundwasser geben kann. Weiterhin war zu prüfen, ob Kohlenwasserstoffe vorhanden sind, die bei der Auswertung bzw. Interpretation der ¹⁴C-Gehalte sowie der δ¹³C-Werte der Grundwässer berücksichtigt werden müssen.

Nachdem die ursprünglich verwendete konventionelle Probennahmemethodik mit einer Gasaus eine sehr hohe Kontamination mit Umgebungsluft erbracht hatte (Proben in Tab. 8.9 mit N₂



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 306 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

>70 Vol-%), wurde die Art der Probennahme verändert. Bei den später erfolgten Probennahmen mit der Methode nach [Capasso & Inguaggiato 1998] war das Ziel, eine Kontamination mit Umgebungsluft zu vermeiden. Die Ergebnisse zeigen nun deutlich geringere Anteile an N₂ und O₂ im Vergleich zu den davor analysierten Gasproben (Tab. 8.10).

Tab. 8.9: Volumetrische Anteile der gelösten Gase in den Wässern der GWM des Asse-Höhenzuges (Probennahme April-Mai 2010).

	He	H ₂	CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄ Methan	C ₃ H ₈ Propan	C ₄ H ₁₀ i-Butan	C ₄ H ₁₀ n-Butan
	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%
Bestimmungsgrenze	<0,002	<0,0004	<0,01	<0,05	<0,05	<0,00004	<0,00002	<0,00002	<0,00002
H5-2010-20m	n.n.	n.n.	0,94	20,38	77,64	0,00054	n.n.	n.n.	n.n.
H5-2010-115m	n.n.	n.n.	0,6	20,95	76,85	0,0172	n.n.	n.n.	n.n.
H6-2010-30m-1	n.n.	n.n.	1,06	19,84	77,74	0,00054	n.n.	n.n.	n.n.
H6-2010-30m-2	n.n.	n.n.	0,61	19,64	77,8	0,00054	n.n.	n.n.	n.n.
H6-2010-60m-1	n.n.	n.n.	0,06	20,52	77,78	0,00092	0,00002	n.n.	n.n.
H6-2010-60m-2	n.n.	n.n.	0,07	20,38	78,04	0,00161	0,00005	n.n.	n.n.
H6-2010-60m-3	n.n.	n.n.	0,03	20,73	78,83	0,00124	0,00002	n.n.	n.n.
H6-2010-60m-4	n.n.	n.n.	n.n.	1,66	6,16	0,00019	n.n.	n.n.	n.n.
H6-2010-60m-5	n.n.	n.n.	n.n.	13,62	81,39	0,0051	n.n.	n.n.	n.n.
H6-2010-60m-6	n.n.	n.n.	0,01	0,04	0,99	0,00092	0,00002	n.n.	n.n.
H6-2010-60m-7	n.n.	n.n.	0,03	10,12	61,79	0,00035	0,00035	0,00007	0,00014
H23-2010-80m	n.n.	n.n.	1,3	18,74	76,54	0,00054	n.n.	n.n.	n.n.
H23-2010-150m-1	n.n.	n.n.	0,64	14,92	81,43	0,00063	n.n.	n.n.	n.n.
H23-2010-150m-2	n.n.	n.n.	0,02	17,52	71,17	0,00165	n.n.	n.n.	n.n.
P9-2010-11m	n.n.	n.n.	1,18	19,78	77,55	0,0205	0,00005	n.n.	n.n.
P13-2010-90m	n.n.	n.n.	0,42	20,84	77,5	0,08103	0,00021	0,00006	0,00007
P16-2010-69m	n.n.	n.n.	1,85	20,16	76,52	0,00054	n.n.	n.n.	n.n.
PN1a-2010-40,5m	n.n.	n.n.	0,79	20,4	77,58	0,00055	n.n.	n.n.	n.n.
PN1b-2010-185m	n.n.	n.n.	0,69	20,79	77,68	0,00055	n.n.	n.n.	n.n.
PN2a-2010-43,7m	n.n.	n.n.	0,05	20,52	77,98	0,00063	n.n.	n.n.	n.n.
PN2b-2010-230m	n.n.	n.n.	1,2	20,89	76,19	0,00085	n.n.	n.n.	n.n.

Die Hauptkomponenten der im Grundwasser gelösten Gase sind Stickstoff gefolgt von Sauerstoff und Kohlendioxid. Nachweisbare Anteile an Methan und Wasserstoff finden sich nur in wenigen Proben in geringen Gehalten, und diese Gase erreichen einen maximalen Gehalt von 0,36 Vol-% (Wasserstoff) und 0,5 Vol-% (Methan) in der Probe aus GWM R7 (Tab. 8.10). Weitere Kohlenwasserstoffe sind nur in wenigen Proben der Messstellen P9, P13 und R7 nachgewiesen worden (Tab.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 307 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

8.9) und dort in sehr geringen Konzentrationen vorhanden (Propan: max. 0,00035 Vol-% und i- bzw. n-Butan: max. 0,00007 Vol-% bzw. 0,00014 Vol-%). Im Fall der Proben aus GWM H6 und P13 ist bei der Betrachtung der Kohlenwasserstoff-Konzentrationen die starke Verdünnung mit Atmosphärenluft zu berücksichtigen. Ein Heliumgehalt über der Bestimmungsgrenze von 0,002 Vol-% wurde in keiner Gasprobe festgestellt.

Tab. 8.10: Volumetrische Anteile der gelösten Gase in den Wässern der GWM des Asse-Höhenzuges (Probennahme September 2010 bis Oktober 2011).

	He	H ₂	CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄ Methan	C ₃ H ₈ Propan	C ₄ H ₁₀ i-Butan	C ₄ H ₁₀ n-Butan
	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%
Bestimmungsgrenze	<0,002	<0,0004	<0,01	<0,05	<0,05	<0,00004	<0,00002	<0,00002	<0,00002
R5-2010-830m	n.n.	0,233	0,39	1,66	4,31	0,345	n.n.	n.n.	n.n.
R7-2010-830m	n.n.	0,358	n.n.	2,03	4,63	0,494	0,00016	n.n.	n.n.
R8-2010a-545m	n.n.	0,153	n.n.	3,07	7,62	0,0485	n.n.	n.n.	n.n.
S1-2011-40m	n.n.	n.n.	0,53	3,01	7,87	0,00018	n.n.	n.n.	n.n.
S1-2011-60m	n.n.	n.n.	0,51	4,93	13,3	0,00021	n.n.	n.n.	n.n.
S1-2011-112m	n.n.	n.n.	0,54	2,09	4,56	0,00016	n.n.	n.n.	n.n.
S3-2010-185m	n.n.	0,149	n.n.	3,42	12,62	0,026	n.n.	n.n.	n.n.
S3-2011-575m	n.n.	n.n.	n.n.	6,01	19,86	0,028	n.n.	n.n.	n.n.
S3-2011-600m	n.n.	n.n.	n.n.	7,83	25,36	0,025	n.n.	n.n.	n.n.

Ein zu den Grundwassermessstellen vergleichbares Bild der gelösten Gase ergibt sich bei Betrachtung der Ergebnisse der M-Messstellen in Tab. 8.11. Die Hauptbestandteile sind ebenfalls Stickstoff, Sauerstoff und Kohlendioxid, wobei erhöhte N₂, O₂ und CO₂-Anteile in den beiden Salzquellen M63 und M305 gefunden wurden. He und Wasserstoff sowie Propan und Butan konnten in den Proben nicht nachgewiesen werden. Methan wurden mit relativ hohen Anteilen in der Salzquelle M63 (0,0084 Vol-%) und M305 (0,0021 Vol-%) sowie mit geringem Anteil (0,00035 Vol-%) in der Quelle M21 gefunden.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 308 von 522		
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014		
9A	22100000	HGG	R	0003	00				

Tab. 8.11: Volumetrische Anteile der gelösten Gase in den Wässern der M-Messstellen des Asse-Höhenzuges (Probennahme August 2010 bis September 2011).

	He	H ₂	CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄ Methan	C ₃ H ₈ Propan	C ₄ H ₁₀ i-Butan	C ₄ H ₁₀ n-Butan
	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%
Bestim.-grenze	<0,002	<0,0004	<0,01	<0,05	<0,05	<0,00004	<0,00002	<0,00002	<0,00002
M2-2010	n.n.	n.n.	n.n.	0,02	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
M10-2010	n.n.	n.n.	n.n.	0,07	0,19	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
M15-2010	n.n.	n.n.	n.n.	0,02	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
M17-2010	n.n.	n.n.	n.n.	0,03	0,08	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
M20-2010	n.n.	n.n.	n.n.	0,03	0,07	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
M21-2010	n.n.	n.n.	n.n.	0,02	0,09	0,00035	n.n.	n.n.	n.n.
M63-2011	n.n.	n.n.	1,28	3,65	12,46	0,00838	n.n.	n.n.	n.n.
M305-2011	n.n.	n.n.	0,77	3,44	12,83	0,0021	n.n.	n.n.	n.n.
M401-2010	n.n.	n.n.	n.n.	0,03	0,06	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

8.4 PLAUSIBILITÄT UND REPRÄSENTATIVITÄT

8.4.1 Plausibilität der Analysendatensätze

Die synoptische Darstellung der Ionenbilanzfehler für die Probennahmekampagnen 2002 bis 2011 in Tab. 8.12 und Abb. 8.32 zeigt, dass 103 der 139 betrachteten Analysendatensätze der GWM einen Ionenbilanzfehler im akzeptablen Bereich von $\pm 5\%$ aufweisen. 20 der analysierten 139 Proben weisen einen Ionenbilanzfehler von $\pm 10\%$ auf, der als fragwürdig eingestuft wird. 16 Analysendatensätze der Jahre 2002 bis 2011 weisen einen größeren Ionenbilanzfehler als $\pm 10\%$ auf und werden dementsprechend als fehlerhaft betrachtet.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 309 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 8.12: Zusammenfassung der Kategorien der Ionenbilanzfehler (IBF) der GWM für die Probennahmekampagnen der Jahre 2002 bis 2011.

Messstelle	IBF <5 %	IBF 5-10 %	IBF >10 %
H1	4	–	–
H2	2	–	–
H3	–	1	2
H5	6	–	2
H6	5	3	–
H7	–	1	1
H9	3	–	–
H14	3	–	–
H16	4	–	–
H17	6	–	–
H23	4	1	–
H24b	14	2	–
P9	–	–	2
P13	4	3	–
P15	3	2	–
P16	–	–	7
P17	3	–	2
PN1	–	2	–
PN2	1	–	1
R5	9	–	–
R6	6	–	–
R7	9	–	–
R8	9	1	–
S1	2	–	3
S3	6	–	–
Summe	103	16	20

Bei den 19 betrachteten Analysendatensätzen der Quellen und Vorfluter zeigt sich nach Tab. 8.13 ein im Vergleich mit den GWM deutlich geringerer Anteil der akzeptablen Ionenbilanzfehler (10 Analysendatensätze; nur eine fragwürdige Analyse) aber ein deutlich höherer Anteil der fehlerhaften Analysendatensätzen (8).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 310 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 8.13: Zusammenfassung der Kategorien der Ionenbilanzfehler (IBF) der Quellen und Vorfluter (M-Messstellen) für die Probennahmekampagnen der Jahre 2002 bis 2011.

Messstelle	IBF <5 %	IBF 5-10 %	IBF >10 %
M2	–	–	1
M10	–	–	1
M15	1	–	1
M17	–	–	1
M20	1	–	1
M21	–	1	1
M25	2	–	1
M63	4	–	–
M305	2	–	–
M401	–	–	1
Summe	10	1	8

Bei den meisten Messstellen treten sowohl Analysendatensätze mit einem Kationen- als auch solche mit einem Anionenüberschuss auf, wobei sich insgesamt etwas häufiger ein Anionenüberschuss als ein Kationenüberschuss ergibt. Eine typischer Fehler der Ionenbilanz kann durch den Ablauf der Probennahme und Analytik der Asse-Wasserproben entstehen: Wenn das Hydrogenkarbonat im Labor und nicht im Gelände gemessen wird, kann durch das Ausfällen von Karbonaten während der Zeit bis zur Analyse (bei Entgasung von CO₂) der Anteil an Bikarbonat verringert werden. Im Gegensatz dazu wird die Probe für die Kationenbestimmung angesäuert, so dass Ca und Mg in Lösung bleiben und dementsprechend in vollem Umfang gemessen werden.

Insgesamt scheint die Qualität der Analysendatensätze für die GWM nicht mit dem Probennahmejahr zu korrelieren (Abb. 8.32). Nur bei den M-Messstellen sind alle acht fehlerhaften Analysendatensätze (nicht gezeigt) während der Probennahme im Jahr 2010 genommen worden.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 311 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

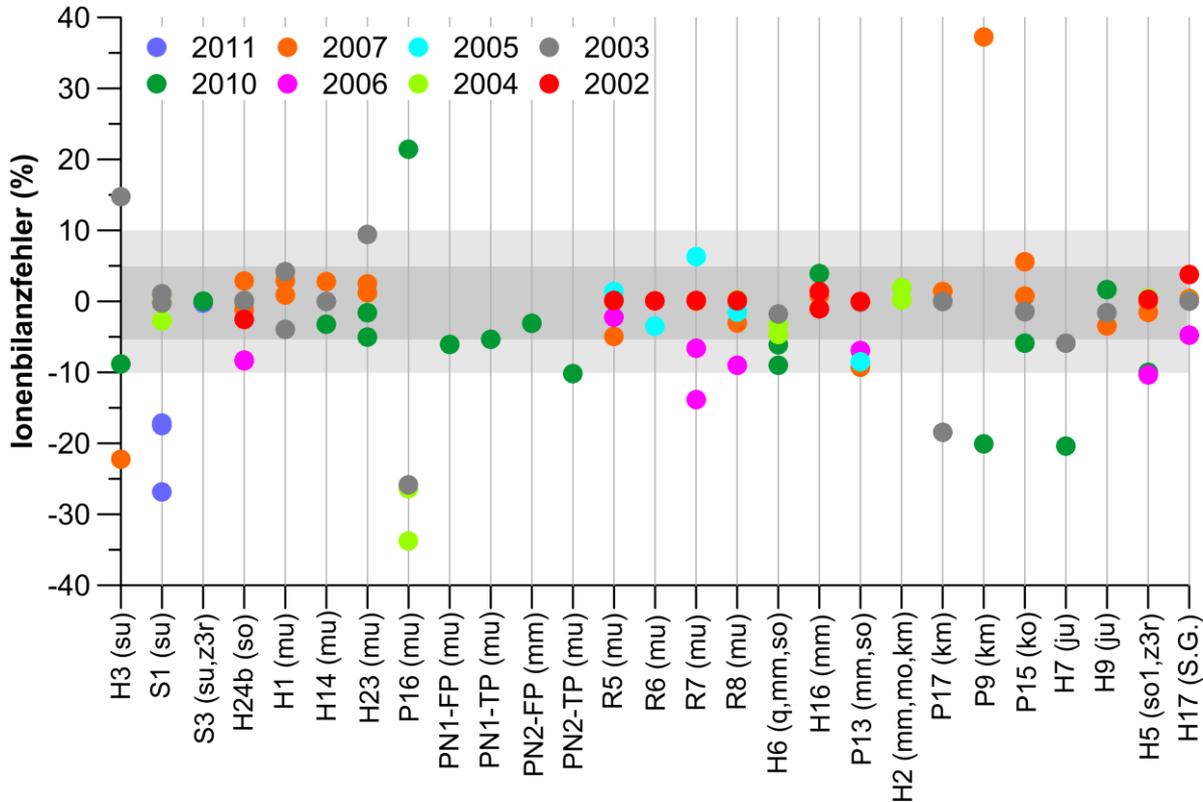


Abb. 8.32: Synoptische Darstellung der Ionenbilanzfehler der Wasseranalysen der GWM des Asse-Höhenzuges aus den Jahren 2002 bis 2011. Das dunkelgraue Band markiert den akzeptablen Wertebereich des Ionenbilanzfehlers ($\pm 5\%$), das hellgraue Band den als fragwürdig eingestuften Bereich ($\pm 5\%$ bis $\pm 10\%$). Proben mit einem Ionenbilanzfehler $> \pm 10\%$ werden als fehlerhaft betrachtet.

Eine Plausibilitätskontrolle der Analysendatensätze über den Vergleich des im Labor bestimmten mit dem aus den Ionenkonzentrationen berechneten Lösungsrückstand konnte zumeist nur für die Proben der letzten Probennahmekampagne 2010/11 durchgeführt werden, da nur bei dieser Kampagne der Lösungsrückstand mit wenigen Ausnahmen im Labor bestimmt wurde. Bei den Analysen aus den Jahren vor 2010 wurde der Lösungsrückstand nur sehr selten bestimmt. Wie Abb. 8.33 zeigt, ergibt sich zumeist eine gute Übereinstimmung des im Labor bestimmten mit dem aus den Ionenkonzentrationen berechneten Lösungsrückstand.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 312 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

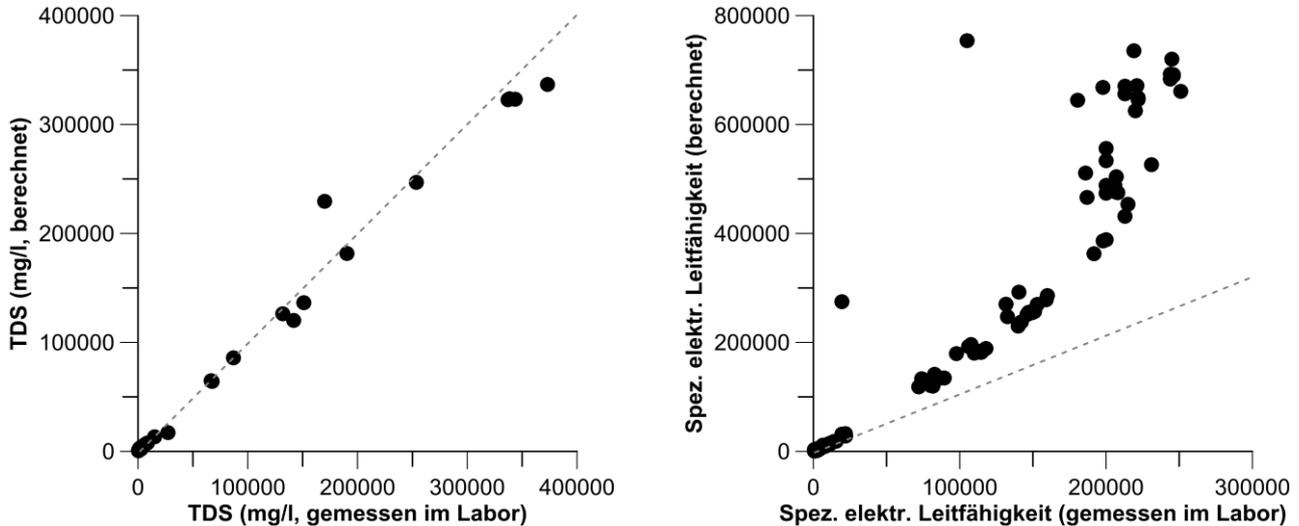


Abb. 8.33: (Links) Diagramm mit den im Labor bestimmten TDS-Werte im Vergleich mit dem aus den Ionenkonzentrationen berechneten TDS-Wert. (Rechts) Diagramm der im Labor gemessenen im Vergleich mit der aus den Ionenladungen berechneten spezifischen elektrischen Leitfähigkeit.

Eine weitere Plausibilitätskontrolle aus dem Vergleich der gemessenen und der aus den Ionenkonzentrationen berechneten spezifischen elektrischen Leitfähigkeiten, die im Bereich von nichtsalinaren Grundwässern häufig verwendet wird [Hölting & Coldeway 2008], ist für die z.T. salinaren Grundwässer des Asse-Höhenzuges nur sehr bedingt anwendbar, da sich bereits bei einem TDS von mehr als 50 g/l eine deutliche Nichtlinearität ergibt (Abb. 8.33). Zumindest zwei Proben weichen auch deutlich von dem nichtlinearen Trend ab und sind somit zu hinterfragen.

Die in [DVWK 1999] empfohlene Plausibilitätskontrolle von Analysendaten mittels sich wechselseitig ausschließender Konzentrationen von z.B. Sauerstoff, Nitrat, Eisen und Mangan sowie bestimmten pH-Wertbereichen sind nur für sehr wenige Analysendatensätze durchführbar, da zum einen diese Parameter zumeist nur für die Probennahmekampagne 2010/11 systematisch bestimmt wurden. Zum anderen entspricht möglicherweise aufgrund der im folgenden Kapitel dargelegten Ergebnisse der bei den Probennahmen gemessene Sauerstoffgehalt des Grundwassers nur sehr bedingt dem Sauerstoffgehalt im GW-Leiter. Dementsprechend ist eine Plausibilitätskontrolle mittels dieses Parameters nach Ansicht der Autoren dieses Berichtes nicht oder nur sehr eingeschränkt durchführbar.

Insgesamt liegen von den meisten Messstellen aus dem Zeitraum 2002 bis 2010 auswertbare Analysendatensätze vor, die sich aber, insbesondere für die Proben aus den Jahren vor 2010, mit den in [DVWK 1999] über den Ionenbilanzfehler hinausgehenden empfohlenen Kriterien nur begrenzt auf ihre Plausibilität kontrollieren lassen. Nur für die Messstellen P16 (*mu*) und P9 (*km*) liegen ausschließlich fehlerhafte Analysendatensätze mit einem Ionenbilanzfehler von mehr als 10 % vor.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 313 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

8.4.2 Repräsentativität der Analysendatensätze

Unter der Repräsentativität eines Analysendatensatzes wird verstanden, dass sich das unter den Bedingungen des GW-Leiters vorliegende Verteilungsmuster und die Konzentration der Wasserinhaltsstoffe in der Wasserprobe annähernd widerspiegeln [DVWK 1999]. Auf die Repräsentativität der Wasseranalysen wirken zahlreiche Faktoren ein, wobei neben Messstellenausbau/-betrieb die Probennahme eine wesentliche Rolle spielt.

Aufgrund des Ausbaus und des Betrieb der Messstellen des Asse-Deckgebirges können sich Änderungen der GW-Beschaffenheit i.W. durch hydraulische Kurzschlüsse zwischen verschiedenen GW-Leitern (vgl. Kap. 3.2), durch Zusickerung von Oberflächenwasser in das Standrohr (vgl. Kap. 4.7) und durch Korrosion der Filterrohre oder der Zementierung ergeben (s.u.).

Die Probennahme aus den GWM des Asse-Deckgebirges erfolgt i.d.R. mittels eines Schöpfapparats. Dadurch wird nur das stehende Wasser aus der Messstelle und nicht das Wasser aus dem erschlossenen GW-Leiter beprobt. Weiterhin besteht die Gefahr, dass durch das Ablassen des Schöpfapparates eine Durchmischung der Wassersäule stattfindet, was insbesondere in Messstellen mit Dichteschichtung problematisch ist. Darüber hinaus können die Änderungen der physikalisch-chemischen und hydraulischen Rahmenbedingungen während der Probennahme und dem nachfolgenden Transport in das Labor zu Veränderungen der Konzentration und des Verteilungsmusters der Wasserinhaltsstoffe in der Wasserprobe führen.

Als Indikatoren, die anzeigen, dass ein Analysendatensatz nur bedingt oder nicht für die GW-Beschaffenheit in einem GW-Leiter repräsentativ ist, können Vergleiche von Analysendaten eines GW-Leitertyps, die mittels verschiedener Methoden beprobt wurden, herangezogen werden. Hier sind für die Asse beispielsweise Analysendaten von Quellen im Vergleich zu Grundwassermessstellen, die jeweils den Muschelkalk erschließen, aussagekräftig. Weiterhin können zur Bewertung der Repräsentativität verschiedene sog. Leitparameter dienen. Dazu zählen z.B. Veränderungen des pH-Wertes zwischen der Probennahme und der Laboranalyse. Dadurch kann es zu Ausfällungen und somit zur Verringerung der gelösten Stoffmenge kommen. Weiterhin können erhöhte Sauerstoffgehalte Hinweise auf Veränderungen während der Probennahme oder dem Proben-transport geben. Die Zusickerung von anthropogen beeinflusstem Oberflächenwasser kann wiederum durch erhöhte Konzentrationen von Nitrat, Bor und/oder organischem Kohlenstoff (DOC) angezeigt werden. Allerdings wird eine eindeutige Abgrenzung anthropogen beeinflusster Grundwässer von unbeeinflussten Grundwässern oftmals durch die große Bandbreite der geogenen GW-Beschaffenheit (hinsichtlich Hauptinhalts-, Begleit- und Spurenstoffen) erschwert. Hier kann die Kombination von Konzentrationsanomalien mehrerer Stoffe zuverlässigere Hinweise geben.

Im Folgenden wird ausgehend von einer Darstellung der genannten Leitparameter, die Repräsentativität der Analysendatensätze evaluiert.

pH-Wert

Der pH-Wert ist ein logarithmisches Maß für die Wasserstoffionenkonzentration $[H^+]$ im Wasser und hängt in Grundwässern in erster Linie wesentlich von dem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht bzw. von der Verfügbarkeit freier Kohlensäure (CO_2) und Karbonaten ab. Die Schwankungsbreite



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 314 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

des pH-Wertes natürlicher Grundwässer liegt insgesamt im Bereich zwischen pH-Werten von 5,5 bis 8 [Hölting & Coldewey 2008]. Dabei ist der pH-Wert von Grundwässern aus silikatischen Grundwasserleitern (z.B. Sandsteine des Buntsandstein: pH ca. 6,9 bis 7,7; Tab. 8.8) typischerweise geringer als der aus karbonatischen Grundwasserleitern (z.B. Kalksteine des Muschelkalk: pH ca. 7,1 bis 8,3; Tab. 8.8).

Darüber hinaus beeinflusst der pH-Wert die Intensität von Redoxprozessen, die Löslichkeit von Metallen (z.B. Fe) und die Bildung von metallorganischen Komplexen. Weiterhin kann durch das Abbinden des Zementes der pH-Wert in einer Messstelle signifikant erhöhen. Dies hat insbesondere in der Zeit nach dem Messstellenbau am Standort Asse in den 1970er und 1980er Jahren die pH-Werte der beprobten Wässer in den Messstellen z.T. deutlich erhöht [GSF 1994].

Die in Abb. 8.34 zusammenfassend dargestellten pH-Werte der Wasserproben aus den GWM des Asse-Höhenzuges liegen überwiegend im Bereich der Schwankungsbreite natürlicher Grundwässer zwischen pH 5,5 und 8. Dies gilt ebenfalls für die pH-Werte der Quellen und Vorfluter (nicht gezeigt; Daten in Anhang E) liegen für den betrachteten Zeitraum alle innerhalb der natürlichen Schwankungsbreite. Dabei liegen die pH-Werte der Wässer zumeist im Bereich von ca. pH 6,8 bis ca. pH 8 und spiegeln damit den Einfluss der überwiegend karbonatischen Festgesteinsgrundwasserleitern auf das Grundwasser des Asse-Höhenzuges wider.

Nur die Proben aus den GWM H16, H17, P17, PN2-FP, R7, R8 und Schacht 3 liegen durchweg oder teilweise deutlich über einem pH von 8, während bei der GWM R5 ein Teil der Proben pH-Werte deutlich unterhalb von 5,5 aufweist (Abb. 8.34).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 315 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

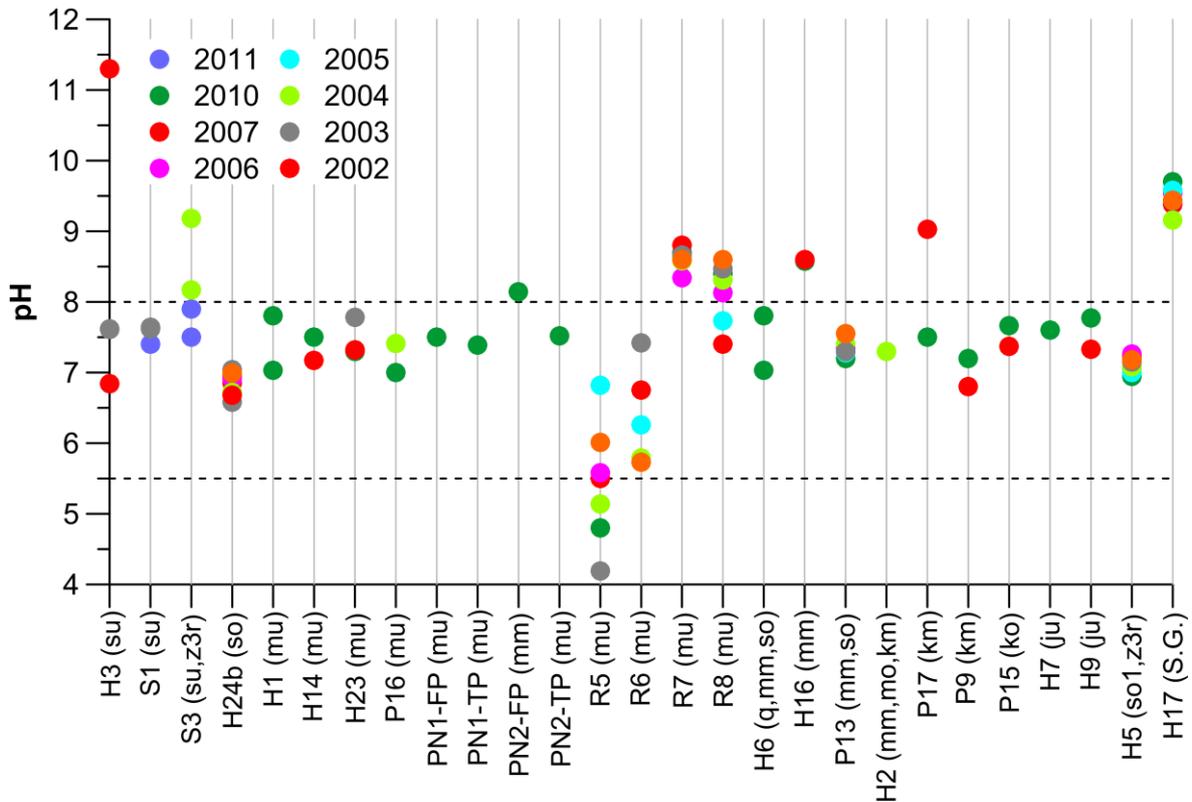


Abb. 8.34: Synoptische Darstellung der vor Ort gemessenen pH-Werte in den Proben aus den GWM des hydrogeologischen Messnetzes (2002 bis 2011). Die beiden gestrichelten Linien bei pH = 5,5 und 8 markieren den pH-Wertebereich natürlicher Grundwässer.

Die erhöhten pH-Werte können v.a. in den tiefen R-Messstellen als Effekt der andauernden Zementkorrosion der Zementierung interpretiert werden. Kurz nach der Errichtung dieser GWM zeigten sich infolge dieses Prozesses stark alkalische pH-Werte zwischen 10 und 12, die in den Folgejahren rasch abnahmen [GSF 1994]. In den GWM R7 und R8 scheint dieser Prozess immer noch nicht vollständig abgeklungen zu sein, während in den beiden GWM R5 und R6 mittlerweile pH-Werte beobachtet werden, die überwiegend kleiner als pH 7 sind.

Im Hinblick auf die Plausibilität der Analysendatensätze wurde zudem die Differenz zwischen den vor Ort und den im Labor gemessenen pH-Werten betrachtet. Bis auf wenige Ausnahmen liegt die Differenz für die Proben aus den Jahren 2002 bis 2011 im Bereich von ± 1 pH-Wert. Diese Differenz kann durch Veränderungen der Temperatur (Erwärmung) und Gasaustausch mit der Atmosphäre bedingt sein und liegt im Rahmen der üblicherweise beobachteten Abweichungen für Grundwasserproben [Mattheß 1994].



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 316 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Sauerstoffgehalt

Atmosphärischer Sauerstoff wird über die GW-Neubildung in das Grundwasser eingetragen. Auch aus der Porenluft kann an der Grundwasseroberfläche Sauerstoff in das Grundwasser diffundieren. Der Sauerstoffgehalt des Grundwassers hängt somit in erster Linie von der Zusicckerungsmenge von sauerstoffreichem Wasser und vom O₂-Verbrauch der hydrochemischen und mikrobiellen Aktivitäten während der Sickerbewegung durch Boden und Gestein und während des Aufenthalts im GW-Leiter (Kontakt des Wassers mit der Matrix des GW-Leiters) ab. Weiterhin ist der Sauerstoffgehalt aber auch abhängig von der Mineralisierung, der Temperatur und dem Umgebungsdruck¹ sowie von der Verweilzeit des Grundwassers im Untergrund.

Im Allgemeinen liegt bei Grundwassertemperaturen von 8 bis 10 °C die Konzentration des im Grundwasser gelösten Sauerstoffs zwischen 2 und 8 mg O₂/l und die Sauerstoffsättigung im Bereich von 9,5 und 12 mg O₂/l (vgl. [Rose & Long 1988] und [Mattheß 1994]). Die typische Bandbreite des Sauerstoffgehaltes für Buntsandsteinabfolgen liegt zwischen ca. 4,9 bis 10,8 mg/l und für Muschelkalkabfolgen zwischen 3 bis 10,2 mg/l (Tab. 8.8; [Kunkel et al. 2004])². Erfahrungsgemäß sind Grundwässer bei Sauerstoffkonzentrationen oberhalb von etwa 5 mg/l frei von Fe(II), Mn(II), NH₄⁻, NO₂⁻ und H₂S [DVWK 1999]. Unterhalb einer Sauerstoffkonzentration von 1 bis 1,5 mg O₂/l kann das Grundwasser als reduziert angesehen werden.

Die Sauerstoffgehalte der Wasserproben aus den GWM des Asse-Deckgebirges wurden während des Untersuchungszeitraumes vor Ort nur bei den Probennahmekampagnen in den Jahren 2007 und 2010/11 bestimmt (Abb. 8.35). Für die Jahre davor (v.a. 1986, 1987, 1990) sind nur für die Messstellen H22 (3,9 bis 6,3 mg/l O₂ im Jahr 1986), H23 (0,3 bis 3,1 mg/l O₂, 1987) und H25 (2,5 bis 4,3 mg/l O₂, 1990) Sauerstoffkonzentrationen gemessen worden.

¹ Entsprechende Tabellen mit temperaturabhängige Korrekturfaktoren für die Sauerstoffsättigung in Abhängigkeit von Luftdruck und Salinität finden sich z.B. in [Radtko et al. 1998].

² Auf eine Tiefen- oder Altersabhängigkeit der Sauerstoffgehalte wird in [Kunkel et al. 2004] nicht eingegangen.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 317 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

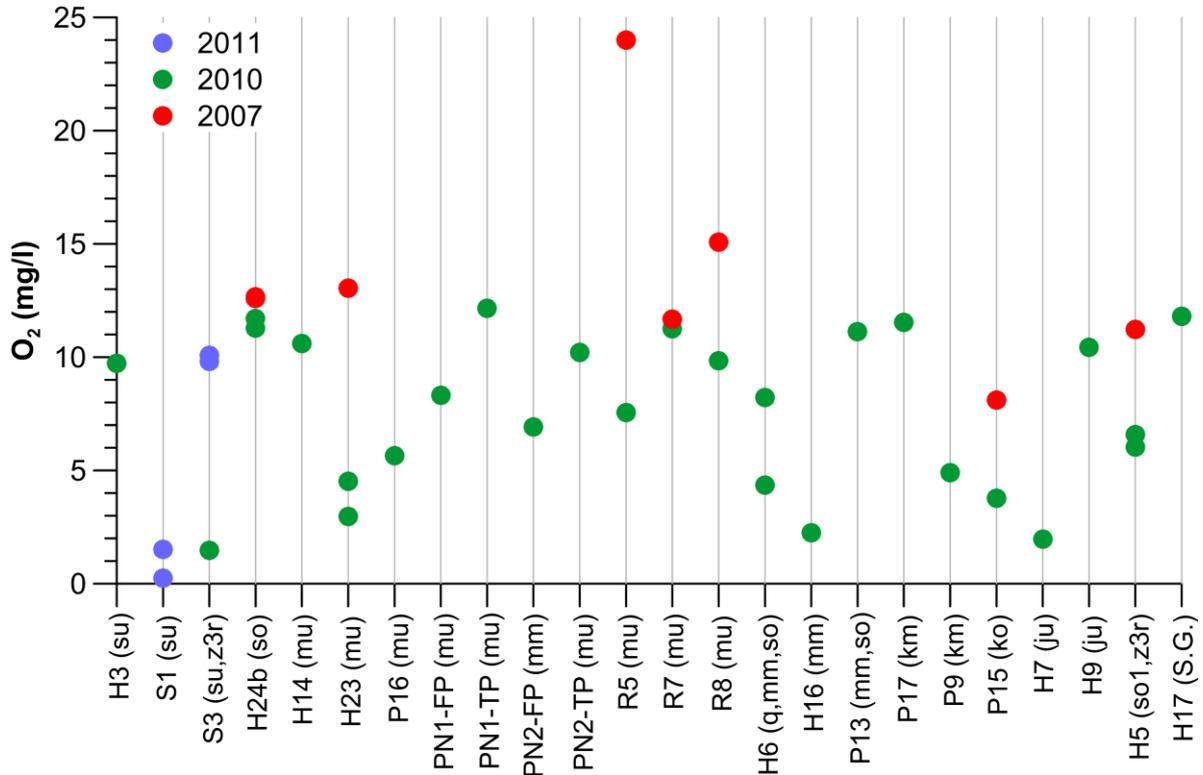


Abb. 8.35: Synoptische Darstellung der Sauerstoffgehalte der Wasserproben aus den GWM (Probennahmekampagnen 2007 und 2010/11).

Die Sauerstoffgehalte der GWM zeigen – auch für verschiedene Proben einer Messstelle – eine starke Streuung (Abb. 8.35). Die niedrigsten Werte von <2 mg/l O₂ treten bei den Proben aus SchachtASSE 1 und Schacht 3 auf. Der Großteil der Messwerte liegt im Bereich von 3 bis 13 mg/l O₂. Einzelne O₂-Gehalte liegen allerdings auch deutlich höher (z.B. 24 mg/l O₂ in GWM R5 aus dem Jahr 2007). An den M-Messstellen wurden Sauerstoffgehalte zwischen 0,2 bis max. 9,9 mg/l O₂ gemessen (Tab. 8.14). Die Sauerstoffgehalte der meisten Wasserproben aus den GWM und M-Messstellen weisen somit eine hohe Sauerstoffsättigung auf, wobei einzelne Proben sogar eine deutliche Übersättigung bei den gegebenen Temperatur-, Luftdruck und Salinitätsverhältnissen zeigen.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Sachstandsbericht Hydrogeologie			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 318 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 8.14: Sauerstoffgehalte der Quellen und Vorfluter nach Daten der Probennahmekampagne 2010/11.

Messstelle	Höhenlage	Formation bzw. Vorfluter entsprechend Tab. 3.4	Sauerstoffgehalt
	(mNN)		(mg/l)
M2	176	<i>mu</i>	5,93
M10	140	<i>so</i>	5
M15	107	<i>mm</i>	5,48
M17	142	<i>s</i>	6,44
M20	121	<i>mu</i>	6,63
M21	130	<i>mm</i>	5,13
M25	139	Rothebach in Wittmar	9,87
M63	111	<i>s/z</i>	8,06
M305	92	Störung <i>su/m</i>	0,27
M401	152	Ammerbeek N Remlingen	7,33

Insgesamt liegt ein Teil der in den GWM des Asse-Deckgebirges beobachteten Sauerstoffgehalte in einer Größenordnung, die auch in ähnlichen Grundwassersystemen beobachtet wird (ca. 3 mg/l bis 10 mg/l) und die nach Ansicht der Autoren somit als plausibel einzustufen sind. Allerdings deuten die ebenfalls in mehreren GWM gemessenen z.T. ungewöhnlich hohen Sauerstoffgehalte (>10 mg/l) sowie die folgenden Gegebenheiten darauf hin, dass die gemessenen Werte nicht den natürlichen Verhältnissen in den GW-Leitern des Asse Deckgebirges entsprechen:

- Durch die Probenahme mittels einer Schöpfapparatur ohne vorhergehendes Abpumpen des Standwassers wird – wie in Kap. 8.1 dargelegt – das Standwasser in der Messstelle beprobt. Dieses Wasser steht in Kontakt mit der Atmosphäre und die gewonnene Wasserprobe kann somit in Abhängigkeit von der Standzeit der Wassersäule und deren Länge durch den Luftsauerstoff beeinflusst sein.
- Durch die Probenahme mittels der mit Luft gefüllten Schöpfapparatur kann beim turbulenten Einströmen und Entleeren die Wasserprobe mit Sauerstoff aus der Atmosphäre in Berührung kommen.
- Weiterhin kann auch der direkte Zutritt von Oberflächenwasser durch ein undichtes Schachtbauwerk in eine Messstelle (z.B. in GWM PN2) zusätzlich höhere Sauerstoffgehalte hervorrufen.

Die Schlussfolgerung von z.T. nicht-natürlichen Sauerstoffgehalten in den beprobten Grundwässern wird weiterhin untermauert durch die an den Quellaustritten gemessenen deutlich geringeren Sauerstoffgehalte, von denen angenommen wird, dass sie eine geringere Beeinflussung durch die Probennahmemethodik aufweisen und i.d.R. nicht mit dem Luftsauerstoff im Gleichgewicht stehen. Beispielsweise liegen die Sauerstoffgehalte für die Quellwässer aus den triassischen GW-Leitern bei Werten von ca. 5 mg/l bis max. 8 mg/l. Sie zeigen damit deutlich geringere Gehalte und Schwankungsbreiten als die der Proben aus den GWM, die vergleichbare GW-Leiter erschließen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 319 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Diese Ergebnisse unterstreichen, dass die aus den GWM gewonnenen Proben nur bedingt die natürlichen Verhältnisse im GW-Leiter wiedergeben. Weiterhin kann unter diesen Umständen der Sauerstoffgehalt nicht entsprechend den Vorschlägen in [DVWK 1999] als Plausibilitätskontrolle für die Konzentrationen bestimmter Begleitstoffe, wie z.B. Fe, Mn und Nitrat, verwendet werden.

Nitrat und Ammonium

Der natürliche Anteil an Nitrat im Grundwasser ist gering und stammt in erster Linie aus Abbauprodukten organischer Substanzen im Boden und Grundwasser [Mattheß 1994]. Auch Ammonium, das nicht austauschbar in das Silikatgitter eingebaut ist, wird durch die Verwitterung der Gesteine in so geringen Mengen freigesetzt, dass die dadurch entstehende geogene Grundlast im Grundwasser gering ist. Dazu kommt, dass unter natürlichen Bedingungen nur geringe Stickstoffmengen aus der Wurzelzone ausgewaschen werden und in das Grundwasser gelangen. Mit dem Niederschlag gelangen natürliche und anthropogen bedingte Stickoxide, aber auch Ammoniak (NH_3) aus der Luft in das Grundwasser. In der Regel stellt sich ein Gleichgewicht ein, das in sauerstoffreichen Grundwässern zu Nitratkonzentrationen zwischen etwa 10 mg und 30 mg Nitrat pro Liter führt [DVWK 1994].

Als wichtigste flächenhafte Eintragsquelle für Stickstoff gilt die landwirtschaftliche Düngung. Ist ein Grundwasser sauerstofffrei, kann das mit dem Sickerwasser eingetragene Nitrat während der Verweilzeit im GW-Leiter bei Anwesenheit von organischen Kohlenstoffverbindungen und/oder reduzierten Schwefel-Eisen-Verbindungen reduziert werden. Reduzierte Grundwässer sind aus diesem Grunde häufig nitratfrei, während die Ammoniumkonzentrationen oftmals erhöht sind. Ammonium kann auch als Zersetzungsprodukt von Harnstoff entstehen [Kunkel et al. 2004], so dass neben erhöhten Nitrat- auch erhöhte Ammoniumkonzentrationen auf eine anthropogene Beeinflussung des Grundwassers durch Abwässer oder Gülle hinweisen können. Hierbei ist zu beachten, dass der ursprüngliche Nitratgehalt einer Wasserprobe nach einer Probennahme während einer längeren ungekühlten Lagerung durch eine Oxidation des Nitrats über Nitrit zu Ammonium umgewandelt werden kann [Selent & Grupe 1998].

Die überwiegende Anzahl der Wasserproben aus den Messstellen des Asse-Höhenzuges weist sehr geringe Nitratkonzentrationen von weniger als 10 mg/l auf (Abb. 8.36). Nur eine geringe Anzahl der Proben der GWM erreicht den Bereich der geogenen Hintergrundwerte für Muschelkalk (40 mg/l) und Buntsandsteinabfolgen (26 mg/l), der von [Kunkel et al. 2004] angegeben wird (Tab. 8.8). In diesem Bereich liegen auch alle Nitratwerte der M-Messstellen (nicht gezeigt; Daten in Anhang E). Über dem von der Trinkwasserverordnung angegebenen Grenzwert von 50 mg/l liegen insgesamt acht Proben. Auffällig ist dabei, dass vier dieser acht Proben aus der Probennahmekampagne von 2006 stammen (aus den GWM H24b, R5 und R7), und in den Jahren vorher und nachher in diesen Messstellen keine auffällig hohen Nitratgehalte gefunden wurden. Hier erscheint, insbesondere angesichts der Tiefenlage der Probennahme in diesen Messstellen, eine Kontamination mit HNO_3 bei der Probennahme als Erklärung wahrscheinlich. Vier weitere Proben mit erhöhten Nitratgehalten stammen aus der Kampagne 2010/11 (aus den GWM H5, H6 und Schacht Asse 3). Diese Proben wurden überwiegend aus sehr flachen Bereichen innerhalb der GWM genommen (Bsp. Schacht Asse 3: 10 m Tiefe) und die erhöhten Nitratwerte können somit auf anthropogenen Eintrag, z.B. aus landwirtschaftlicher Düngung, in das Grundwasser hindeuten.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 320 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Diese Interpretation wird gestützt durch die Nähe der GWM H5 und H6 sowie von Schacht Asse 3 zu landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen.

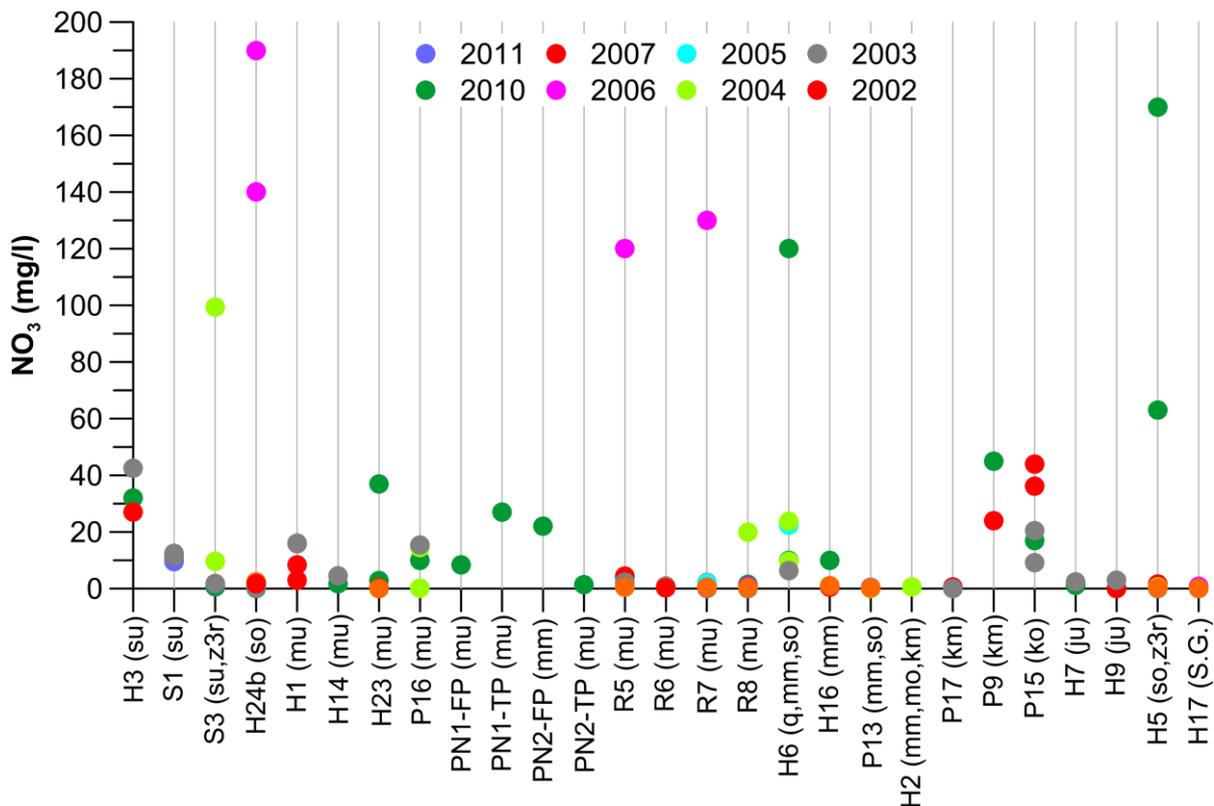


Abb. 8.36: Synoptische Darstellung der Nitratkonzentrationen in den Proben aus den GWM des hydrogeologischen Messnetzes aus den Jahren 2002-2011.

Bor

Bor kommt als natürlicher Spurenstoff häufig in magmatischen Gesteinen vor. Infolge der Widerstandsfähigkeit des Bor-haltigen Turmalins ist Bor aber auch typischerweise in Sandsteinen angereichert [Mattheß 1994]. Eine Boranreicherung wurde aber auch in terrestrischen Evaporiten sowie in Tonsteinen beobachtet, in denen Bor vor allem sorptiv an Tonminerale gebunden ist und in Verbindung mit organischen Substanzen auftritt. Eine weitere wichtige Quelle für Bor sind zudem Waschmittel, die z.T. Tetraborate als Zusatz enthalten. In Grundwässern kommt Bor meist in Konzentrationen von 0,01 bis 0,1 mg/l vor. Werte von 1 mg/l treten sehr selten auf und können in oberflächennahen Grundwässern einen Hinweis für anthropogenen Verunreinigungen liefern. Extreme hohe Borkonzentrationen bis >100 mg/l werden z.B. in vulkanogenen Thermalwässern und tiefen Formationswässern sowie in salinaren Relikt wässern beobachtet [Müller & Papendieck 1975].

Die durch die Probennahmekampagnen 2002 bis 2011 bestimmten Borgehalte der Grundwässer des Asse-Höhenzuges zeigen für die meisten Messstellen Konzentrationen im Bereich von etwa 0,2 mg/l bis 20 mg/l die deutlich über der Nachweisgrenze (0,1 mg/l) und dem für diese GW-Leiter beschriebenen Bereich der geogenen Hintergrundwerte von 0,02 bis 0,065 mg/l (Tab. 8.7) liegen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 321 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Außergewöhnlich hohe B-Werte wurden zudem für die Messstellen H5 (2010: 330 mg/l) und H16 (2010: 92,7 mg/l) gefunden. Für die GWM H5 und H16 wurden vergleichbar hohe Borkonzentrationen zwischen 250 und 330 mg/l bzw. 76 und 89 mg/l auch schon bei vorangegangenen Probenahmen in den Jahren von 2002 bis 2007 festgestellt. Für die GWM H16 wurden keine weiteren Hinweise auf anthropogenen Eintrag (z.B. durch erhöhte Nitrat- oder DOC-Gehalte) gefunden und die Ursache dieser hohen Borkonzentration ist unklar. Für die GWM H5 wurden jedoch in 2010 stark erhöhte Nitratkonzentrationen gefunden, die in Verbindung mit den hohen Borkonzentrationen deutlich auf anthropogenen Eintrag hindeuten.

Zink

Das Spurenelement Zink kann im Silikatgitter die Elemente Eisen und Magnesium substituieren sowie als Sphalerit (ZnS) Lagerstätten bilden. Dementsprechend ist es in vielen magmatischen und sedimentären Gesteinen vorhanden. Bei pH-Werten um 7 kommt Zink in wässriger Lösung als Zn^{2+} -Ionen vor, bei pH <6 bzw. >11,5 auch als $ZnOH^+$. Der Zink-Gehalt von gering mineralisierten Grundwässern liegt nach [Mattheß 1994] normalerweise bei weniger als 0,01 mg/l. Höhere Zink-Gehalte sind zumeist an Mineralwässer bzw. an Grundwässer aus der Umgebung von Erzlagerstätten gebunden. Weiterhin können erhöhte Zink-Gehalte durch Korrosion von verzinkten Stand- oder Filterrohren hervorgerufen werden und somit als Indikator für den Einfluss des Messstellenausbaus auf die GW-Beschaffenheit dienen [Marsh & Lloyd 1980].

Die in den Jahren 2002 bis 2011 bestimmten Zn-Gehalte der Proben aus den GWM des Asse-Deckgebirges liegen zumeist über der Bestimmungsgrenze (0,005 mg/l) im Bereich der geogenen Hintergrundwerte von 0,01 mg/l bis 0,03 mg/l. Das Auftreten von deutlich höheren Zn-Gehalten ist auf Proben aus den GWM H5 (max. 1,6 mg/l; max. 7 mg/l aus den Jahren vor 2002) und R5 (max. 2,8 mg/l; max. 37 mg/l aus den Jahren vor 2002) sowie der Salzquelle M63 (nur eine Analyse mit einem Wert von 6,9 mg/l aus dem Jahr 2011; dieser Wert stellt möglicherweise einen Ausreißer dar) beschränkt. Die erhöhten Zn-Gehalte in diesen GWM sind möglicherweise indikativ für den Einfluss des Messstellenausbaus (R5 weist auch ungewöhnlich hohe Eisenkonzentrationen auf).

Gelöster organischer Kohlenstoff

Der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) ist ein Summenparameter aller gelösten organischen Verbindungen in einer Wasserprobe [Mattheß 1994]. Darunter werden alle Verbindungen verstanden, die Kohlenstoff enthalten, mit Ausnahme von gelöstem Kohlendioxid, Kohlensäure, Karbonat und Bikarbonat. In reduzierten Grundwässern können geogene DOC-Konzentrationen von 5 mg/l und mehr auftreten, während sie in oxidierten Grundwässern deutlich geringer sind [Kunkel et al. 2004]. Darüber hinaus erhöhte DOC-Werte werden normalerweise dem Eintrag von geogenen oder anthropogenen Kohlenstoffverbindungen, wie z.B. Kohlenwasserstoffen, Huminstoffen oder organischem Dünger, zugeschrieben.

Für das hydrogeologische Messnetz des Asse-Höhenzuges wurde der DOC-Gehalt nur während der Probennahmekampagne 2010/11 für die GWM bestimmt (44 Analysenergebnisse). DOC-Gehalte für die Quellen und Vorfluter liegen nicht vor. Die in Abb. 8.37 dargestellte Verteilung der DOC-Konzentrationen zeigt, dass ein Großteil der Proben im Bereich der geogenen Hintergrundwerte bis etwa 5 mg/l liegt. Nur bei wenigen Messstellen liegen die DOC-Gehalte deutlich über



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 322 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

diesem Wert (z.B. H24b: 28 mg/l; H23: 20 mg/l, M305: 9,5 mg/l), jedoch wurden auch ungewöhnlich hohe DOC-Gehalte gefunden (z.B. GWM H5: 110 mg/l; H6: 70 mg/l; R5: 139 mg/l; R7: 152 mg/l). Für diese Messstellen ergeben sich dementsprechend aus den DOC-Gehalten Hinweise auf eine anthropogene Beeinflussung des beprobten Wassers, wobei, wie oben ausgeführt, weitere deutliche Hinweise auf anthropogene Beeinflussung aus den erhöhten Nitrat- oder Bor-Gehalten nur für die Proben der GWM H5 und H6 abgeleitet werden können. Die Ursache für die hohen DOC-Gehalte in den beiden R-Messstellen R5 und R7 sind momentan unklar.

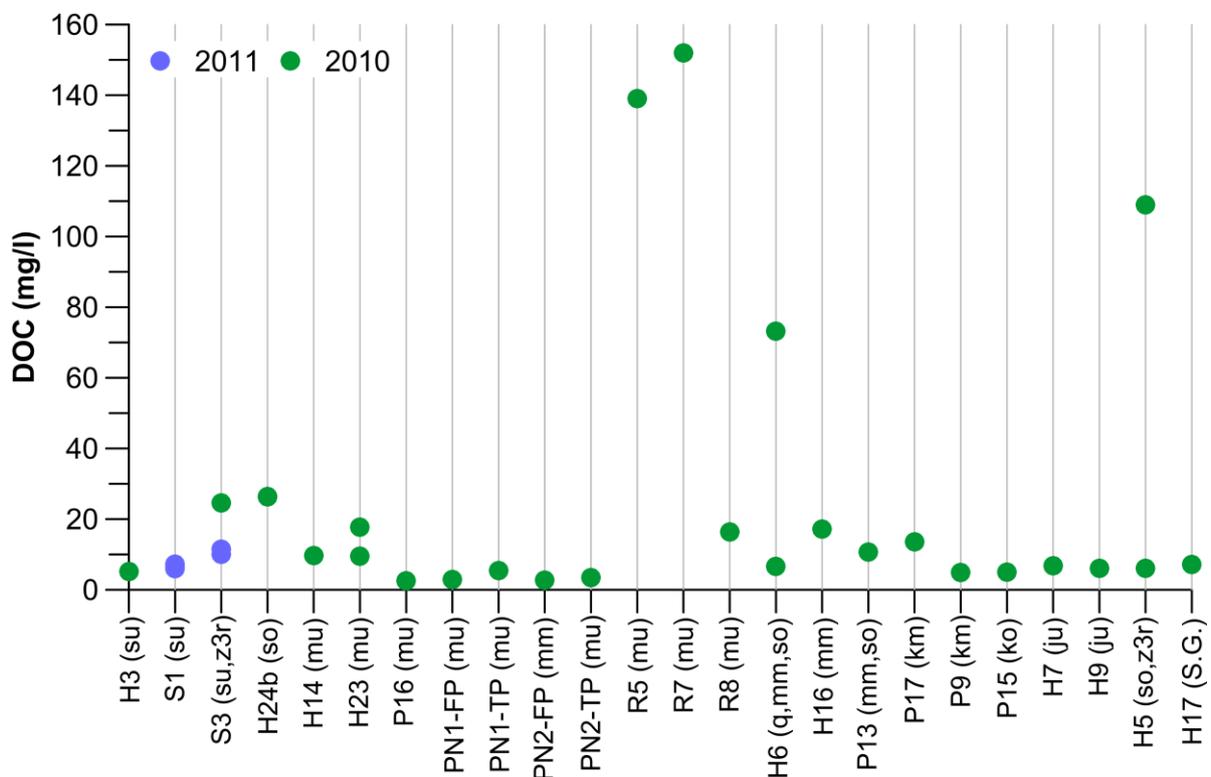


Abb. 8.37: Synoptische Darstellung der DOC-Konzentrationen in den Proben aus den GWM des hydrogeologischen Messnetzes aus den Jahren 2010-2011.

Markierungsstoffe

Die während der Probennahmekampagne im Mai 2010 organoleptisch feststellbaren erheblichen Konzentrationen der Farbstoffe Pyranin und Eosin in den GWM H6 und P16, können Hinweise auf die Grundwasserströmung im Bereich dieser GWM geben. Da die Markierungsstoffe vor 20 Jahren in diese beiden Messstellen eingegeben wurden, ist davon auszugehen, dass seit dieser Zeit nur eine sehr geringe Durchströmung im Bereich der Filterstrecke stattgefunden hat. Für die GWM H6 betrifft dies die Probe bei 60 m Tiefe aus dem unterem, im Oberen Buntsandstein so verfilterten Abschnitt der Filterstrecke, während die Probe bei 30 m Tiefe aus dem oberen im Quartär q und im Mittleren Muschelkalk mm verfilterten Abschnitt visuell keine Spuren des Markierstoffes aufwies.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 323 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Für die GWM P16 (Probe aus 69 m Tiefe) gilt dies entsprechend für die tieferen Abschnitte der Filterstrecke, die ausschließlich den Unteren Muschelkalk erschließen.

8.5 HYDROCHEMISCHE TYPISIERUNG

Aufgrund der Konzentrationen der Hauptinhaltsstoffe und dem Lösungsgehalt können die Grundwässer des Asse-Höhenzuges in den beprobten Abschnitten der GWM bzw. in den M-Messstellen (Quellen und Vorfluter) den folgenden drei dominierenden Wassertypen zugeordnet werden (Tab. 8.15 und Tab. 8.16):

- (i) Sehr gering (Süßwasser) bis gering (Brackwasser) mineralisierte Grundwässer mit sehr unterschiedlicher Typisierung die jedoch nicht dem Calcium-Sulfat- (Ca-SO_4 -) Typus zuzuordnen sind. Dazu gehören z.B. die Natrium-Chlorid- (Na-Cl -) Wässer in GWM H9, die Magnesium-Calcium-Chlorid- (Mg-Ca-Cl -) Wässer in GWM H14 und die Calcium-Hydrogenkarbonat- (Ca-HCO_3 -) Wässer in GWM P16.
- (ii) Gering mineralisierte Brackwässer vom Calcium-Sulfat- (Ca-SO_4 -) Typus in GWM H1, H2 (oberer beprobter Abschnitt) H5 (oberer beprobter Abschnitt), PN1 (FP und TP) und PN2 (FP und TP) sowie in Quelle M21.
- (iii) Stark mineralisierte Salzwässer bzw. Sole vom Natrium-Chlorid- (Na-Cl -) Typus in Schacht Asse 3, GWM H5 (unterer beprobter Abschnitt), H6 (unterer beprobter Abschnitt), H16, H24b, P13, P17, R5 bis R8 und sowie in Quelle M63 und M305.

Dabei ist anzumerken, dass in einer Reihe von Messstellen (GWM H16, H17, H24b, P13, P17, R5 bis R8) oberhalb der beprobten Abschnitte entsprechend den vertikalen Dichte- und Leitfähigkeitsprofilen sehr gering mineralisiertes Wasser (i.d.R. Süßwasser) ansteht. Dieses Wasser kann entweder durch die direkte Zusickerung von Oberflächenwasser in das Standrohr, durch eine undichte Verrohrung oder, falls vorhanden, durch oberflächennähere verfilterte Abschnitte in die Messstelle gelangt sein und wurde im Rahmen der Probennahmekampagnen nicht beprobt.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 324 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 8.15: Zusammenfassende Darstellung der Typisierung und des berechneten Lösungsgehaltes (TDS_{calc}) sowie der Klassifizierung der Wässer aus den GWM anhand der Analysendaten aus den Jahren 2002 bis 2011.

GWM	Lithologie (Kap. 3.2)	Proben-tiefe (m)	Dominierender Grundwasser-Typ	TDS_{calc} – Bereich (g/l) ⁽¹⁾	Klassifizierung
H3	su	85; 89	Mg- (Ca-) HCO ₃	0,6 – 1,1	Süßwasser
S1	su	90; 141	Ca-Mg-Na-SO ₄ -Cl	2,4 – 3,5	Brackwasser
S3	su, z3r, z	10 bis 600	Na-Cl	2,6 – 324	Brackwasser – Sole
H24b	so	110; 170	Na-Cl	110 – 140	Sole ⁽³⁾
H1	mu	30 bis 68	Ca-SO ₄	1,5 – 2,1	Brackwasser
H14	mu	47	Mg-Ca-Cl (-SO ₄)	2,1 – 2,6	Brackwasser
H23	mu	80; 150	Mg-Ca-SO ₄ (-HCO ₃)	0,7 – 1,0	Süßwasser
P16	mu	69 bis 146	Ca-HCO ₃ ⁽²⁾	0,5 – 1,1 ⁽²⁾	Süßwasser ⁽²⁾
PN1-FP	mu	40,5	Ca-SO ₄	3,1	Brackwasser
PN1-TP	mu	185	Ca-SO ₄	2,7	Brackwasser
PN2-FP	mm	43,7	Ca-SO ₄	2,5	Brackwasser
PN2-TP	mu	230	Ca-SO ₄	3,7	Brackwasser
R5	mu	830; 888	Na-Cl	261 – 337	Sole ⁽³⁾
R6	mu	470	Na-Cl	171 – 247	Sole ⁽³⁾
R7	mu	830	Na-Cl	234 – 345	Sole ⁽³⁾
R8	mu	545	Na-Cl	85 – 93	Salzwasser ⁽³⁾
H6	q, mm, so	20 bis 67	Na-Cl; Na-Cl-Ca-SO ₄	4,6 – 9,3	Brackwasser
H16	mm	33	Na-Cl	9,4 – 17	Salzwasser ⁽³⁾
P13	mm, so	90	Na-Cl	57 – 64	Salzwasser ⁽³⁾
H2	mm, mo, km	35; 58	Ca-SO ₄ ; Na-Cl-SO ₄	1,7; 10	Brackwasser; Salz-wasser
P17	km	55; 56	Na-Cl	65 – 68	Salzwasser ⁽³⁾
P9	km	11	Ca-Mg-HCO ₃ ; Ca-SO ₄ -HCO ₃ -Cl ⁽²⁾	0,9; 1,6 ⁽²⁾	Brackwasser ⁽²⁾
P15	ko	30 bis 45	Na-Mg-Cl (-HCO ₃)	0,9 – 2,2	Brackwasser
H7	ju	29	Na-Cl-HCO ₃	1,5 – 1,8	Brackwasser
H9	ju	50	Na-Cl	4,5 – 5,3	Brackwasser
H5	so, z3r	20; 115	Ca-SO ₄ ; Na-Cl	2,8; 229 – 251	Brackwasser; Salz-wasser
H17	Subr. Ger.	228	Na-Ca-Cl-SO ₄	5,2 – 6,6	Brackwasser ⁽³⁾

⁽¹⁾ Wertebereich entsprechend den Proben mit einem Ionenbilanzfehler <10 %, sofern nicht anders angegeben; Werte jeweils gerundet.

⁽²⁾ Alle Proben weisen einen Ionenbilanzfehler >10 % auf und sind nur der Vollständigkeit halber gezeigt.

⁽³⁾ In dieser Messstelle steht oberhalb der beprobten Abschnitte Süßwasser (nicht beprobt) an.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 325 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 8.16: Zusammenfassende Darstellung der Typisierung und des berechneten Lösungsgehaltes (TDS_{calc}) sowie der Klassifizierung der Wässer der Quellen und Vorfluter anhand der Analysendaten aus den Jahren 2002 bis 2011.

Messstelle	Lithologie / Vorfluter (Kap. 3.3)	Dominierender Grundwasser-Typ	TDS_{calc} – Bereich (g/l) ⁽¹⁾	Klassifizierung
M17	s	Ca-Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃	1,7	Brackwasser
M10	so	Ca-SO ₄ -HCO ₃	2,7	Brackwasser
M2	mu	Ca-SO ₄ -HCO ₃	2,6	Brackwasser
M20	mu	Na-Ca-Cl-SO ₄	1,5	Brackwasser
M15	mm	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	0,8 – 1,1	Süßwasser
M21	mm	Ca-SO ₄	2,7 – 3,1	Brackwasser
M63	su/z	Na-Cl	73 – 95	Salzwasser
M305	su/z	Na-Cl	24 – 30	Salzwasser
M25	Rothebach	Ca-Mg-Na-SO ₄ -Cl	1,9 – 2,3	Brackwasser
M401	Ammerbeek	Ca-HCO ₃ -SO ₄	1,2	Brackwasser

⁽¹⁾ Wertebereich entsprechend den Proben mit einem Ionenbilanzfehler <10 %; Werte jeweils gerundet.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 326 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

8.5.1 Buntsandstein

Die Grundwässer aus den Messstellen, die gemäß der Bohrprofilaufnahme überwiegend den Unteren Buntsandstein erschließen (GWM H3 und Schacht Asse 1), sind relativ gering mineralisiert, vom Ca-Mg-Cl-HCO₃-Typ und als Mischwässer von überwiegend hydrogenkarbonatischen Wässern (wahrscheinlich bedingt durch die kalkhaltigen Rogensteinbänke) mit einem geringen Anteil an Na-Cl-Wässern zu interpretieren (Tab. 8.15; Abb. 8.38). Die GWM H24b, die mit ihrer Filterstrecke Tonsteine und Sulfate des Oberen Buntsandstein (*so1-so2*) erschließt, weist sehr stark mineralisiertes Na-Cl-Wasser auf, das einen auffallend geringen Sulfatanteil besitzt.

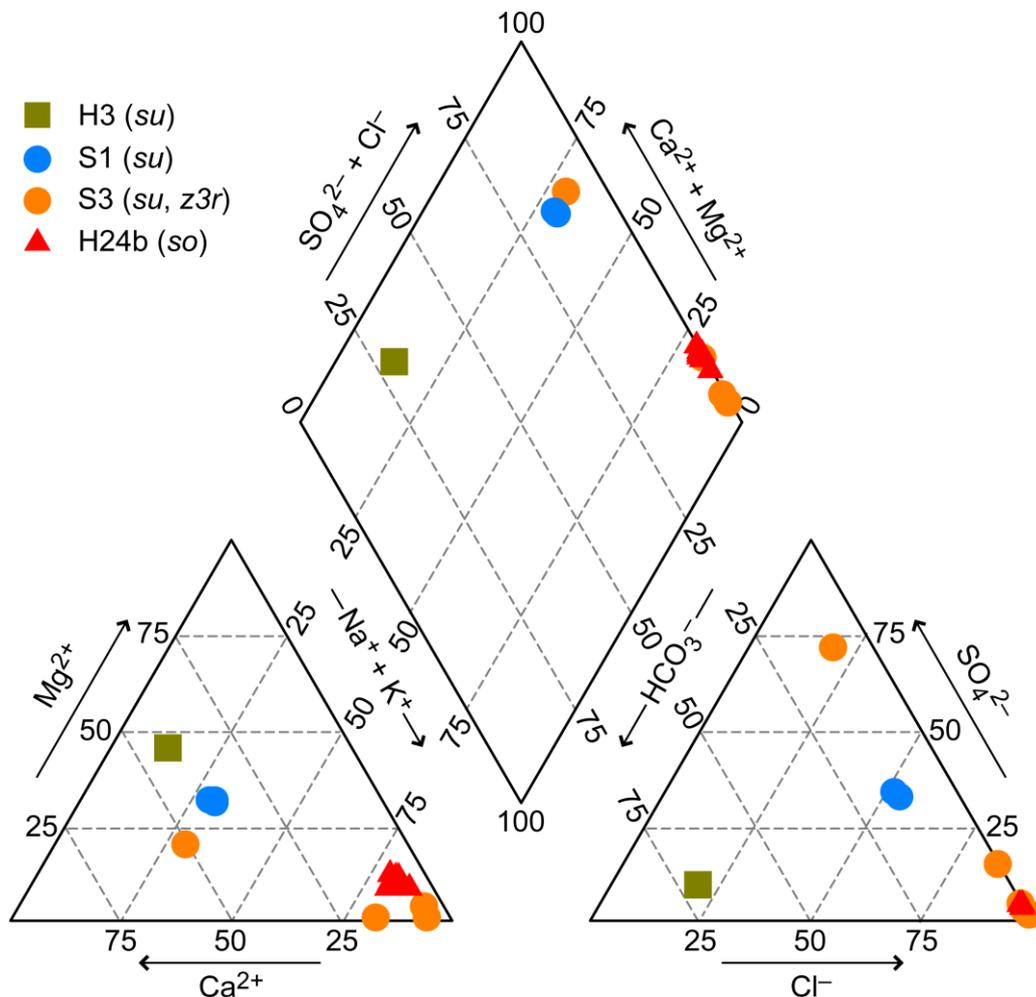


Abb. 8.38: Piper-Diagramm der Grundwässer aus den Messstellen des hydrogeologischen Messnetz, die den Unteren bzw. Oberen Buntsandstein erschließen (Proben der Jahre 2002 bis 2011 mit einem Ionenbilanzfehler <10 %).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 327 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

8.5.2 Muschelkalk

Die Grundwässer aus den Messstellen, die überwiegend den Unteren Muschelkalk *mu* erschließen sind generell relativ gering mineralisiert und stellen entweder Ca-HCO₃-Wässer (z.B. GWM P16), Ca-SO₄-Wässer (z.B. GWM PN1 und PN2) oder eine Mischung beider Typen (z.B. GWM H23) dar (Tab. 8.15; Abb. 8.39). Davon abweichend weisen die vier tiefen R-Messstellen, die im Unteren Muschelkalk verfiltert sind, hochmineralisierte Na-Cl-Wässer auf (Tab. 8.15; Abb. 8.40).

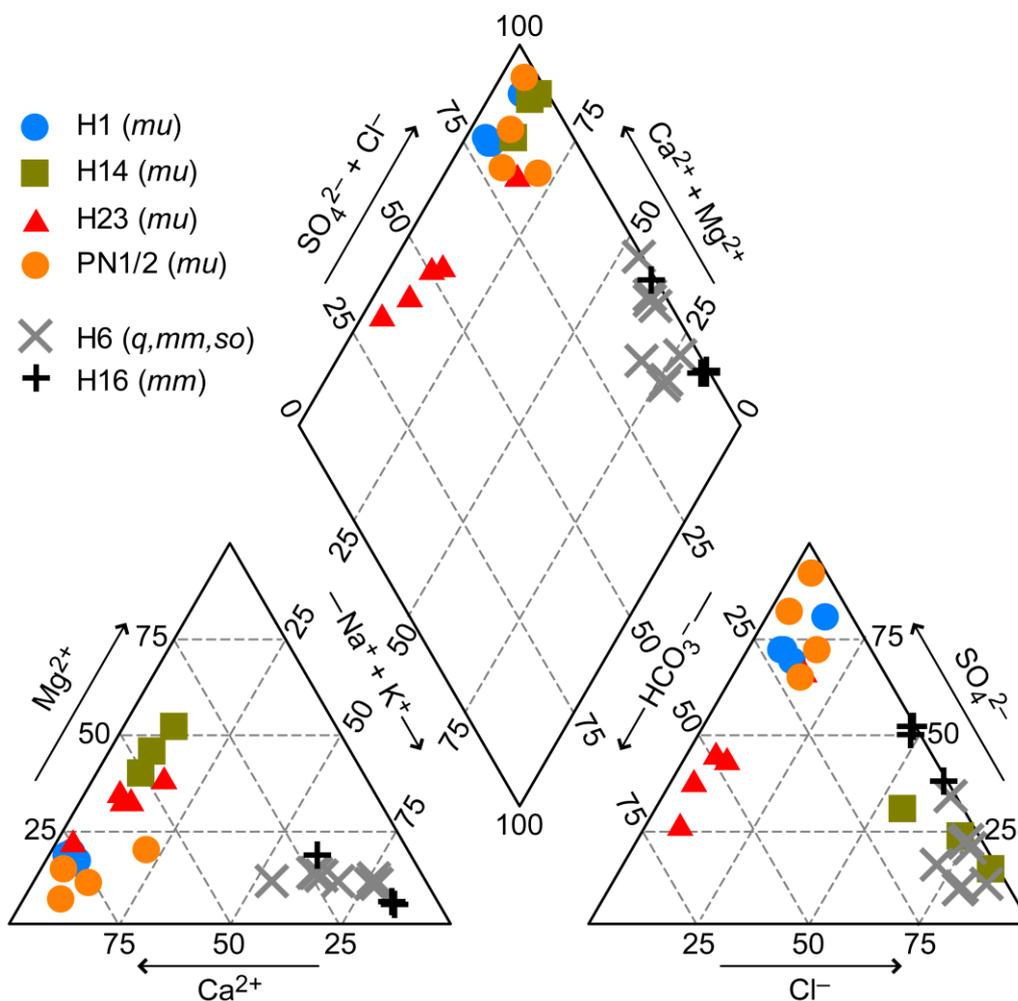


Abb. 8.39: Piper-Diagramm der Grundwässer aus den Messstellen des hydrogeologischen Messnetz, die den Unteren bzw. Mittleren Muschelkalk erschließen (Proben der Jahre 2002 bis 2011 mit einem Ionenbilanzfehler <10 %).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 328 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

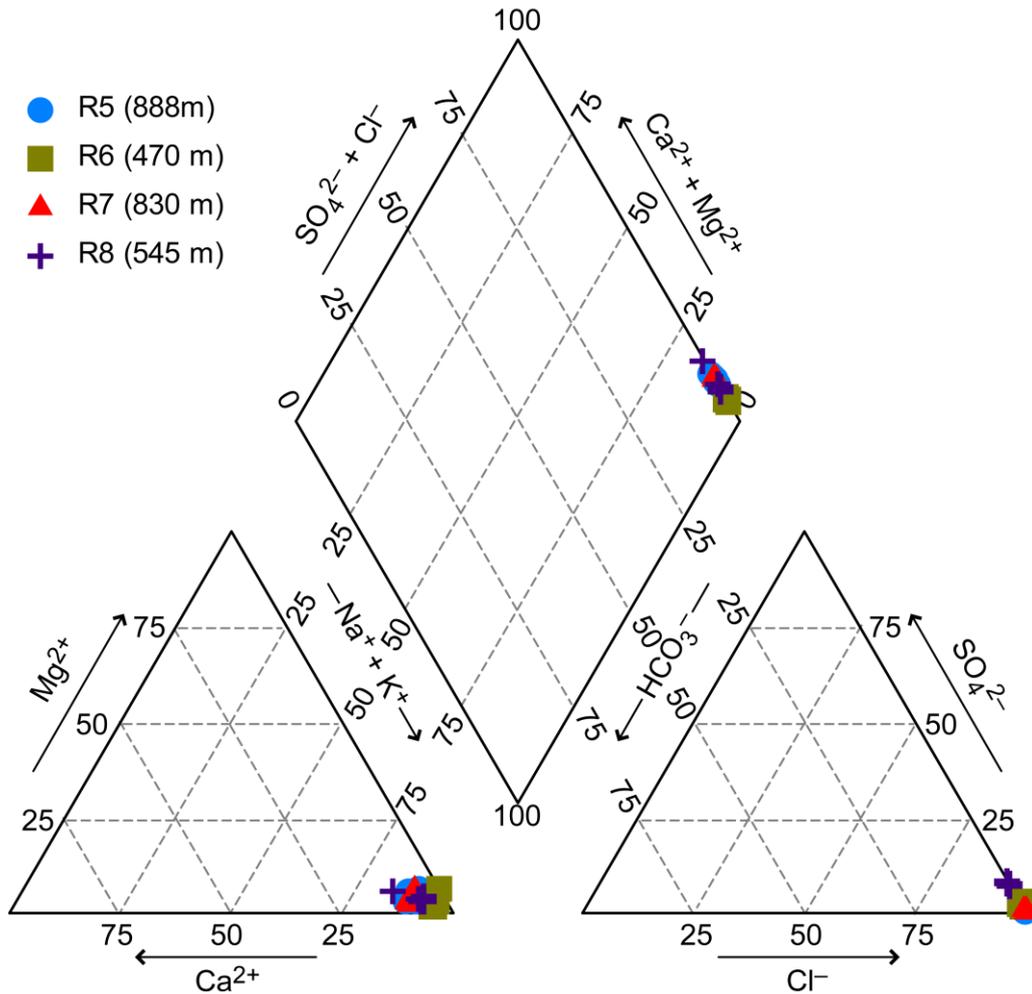


Abb. 8.40: Piper-Diagramm der Grundwässer aus den tiefen R-Bohrungen, die mit ihrer perforierten Verrohrung den Unteren Muschelkalk erschließen (Proben der Jahre 2002 bis 2011 mit einem Ionenbilanzfehler <10 %).

Die Wässer aus den GWM mit Filterstrecken im Mittleren Muschelkalk *mm* zeigen z.T. sulfatischen Einfluss (Na-SO₄-Cl-Wässer mit mittlerer Mineralisierung in GWM H16). Die beiden GWM H6 und P13 sind dahingegen durch Na-Cl-Wässer charakterisiert, wobei das Wasser der GWM P13 um den Faktor 10 stärker mineralisiert ist als das der GWM H6 (Tab. 8.15; Abb. 8.39).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 329 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

8.5.3 Keuper

Die Mineralisierung der Wässer aus den beiden im Keuper verfilterten GWM P17 (*km*; NE-Flanke) und P15 (*ko*; SW-Flanke) ist sehr unterschiedlich (Tab. 8.15; Abb. 8.41). Erstere zeigt eine relativ hohe Mineralisierung der Na-Cl-Wässer, letztere weist gering mineralisierte Wässer vom Na-Mg-Cl-HCO₃-Typ auf.

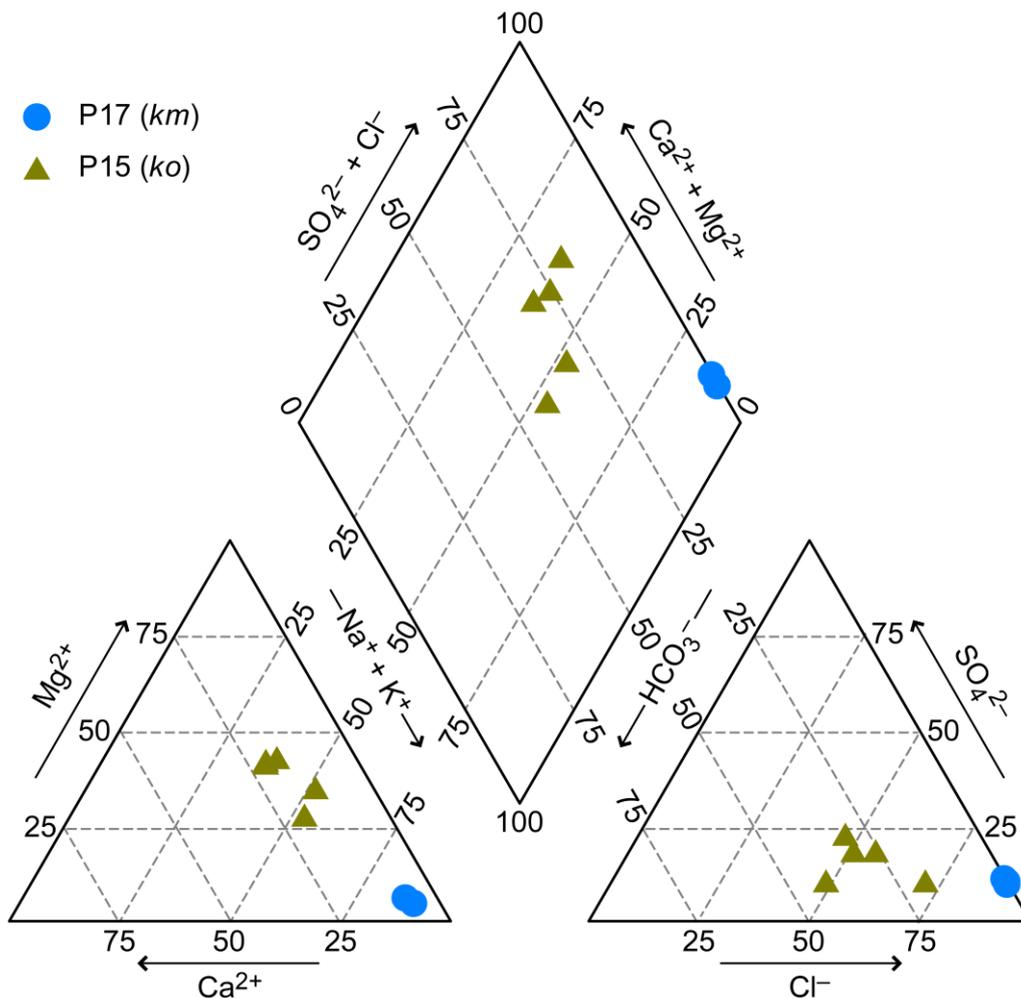


Abb. 8.41: Piper-Diagramm der Grundwässer aus den Messstellen des hydrogeologischen Messnetz, die Schichten des Mittleren und Oberen Keuper erschließen (Proben der Jahre 2002 bis 2011 mit einem Ionenbilanzfehler <10 %).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 330 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

8.5.4 Jura

Die beiden GWM, die im Unteren Jura verfiltert sind weisen relativ gering mineralisierte Wässer vom Typ Na-Cl-HCO₃ (H7) bzw. Na-Cl (H9) auf (Abb. 8.42).

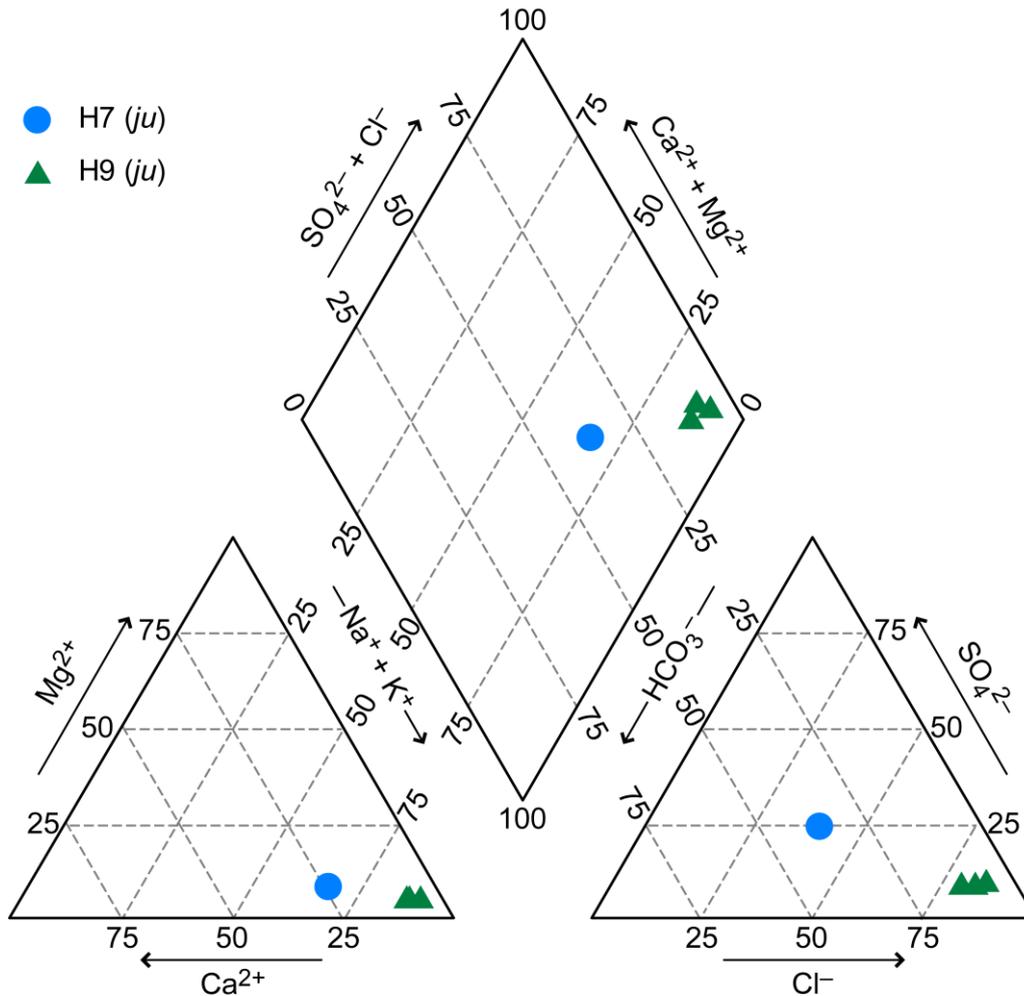


Abb. 8.42: Piper-Diagramm der Grundwässer aus den Messstellen des hydrogeologischen Messnetz, die Schichten des Unteren Jura erschließen (Proben der Jahre 2002 bis 2011 mit einem Ionenbilanzfehler <10 %).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 331 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

8.5.5 Residualer Zechstein

Die GWM H5 die gemäß ihres Bohrprofils in ihrem oberen Abschnitt bis etwa 40 m Tiefe Oberen Buntsandstein (so1) und in ihrem unteren, bis in etwa 122 m Tiefe reichenden Abschnitt, residualen Zechstein erschließt, weist eine deutliche Schichtung des Grundwassers auf. Im oberen Abschnitt liegen schwach mineralisierte Ca-SO₄-Wässer vor, während im unteren Abschnitt sehr stark mineralisierte Na-Cl-Wässer auftreten (Tab. 8.15; Abb. 8.43). Die Salzspiegelbohrung GWM H17 weist Wässer vom Na-Ca-Cl-SO₄-Typ auf, und kann damit als Mischwasser aus Na-Cl- und Ca-SO₄-Wässern interpretiert werden. Der Grund für die angesichts des durch die Bohrung erschlossenen Subrosionsgerinnes am Salzspiegel ungewöhnlich geringe Mineralisierung der Wässer in der GWM H17 ist derzeit nicht bekannt.

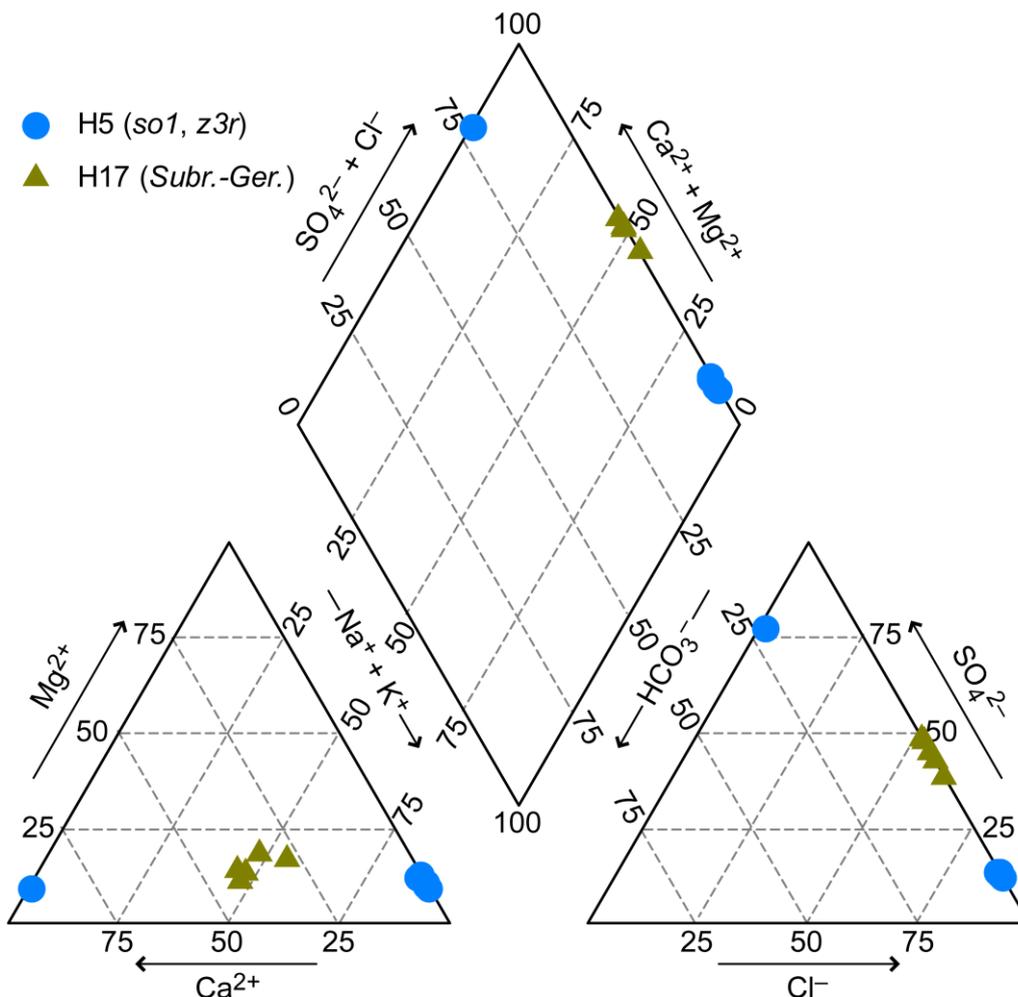


Abb. 8.43: Piper-Diagramm der Grundwässer aus den Messstellen des hydrogeologischen Messnetz, die residualen Zechstein bzw. Subrosionsgerinne erschließen (Proben der Jahre 2002 bis 2011 mit einem Ionenbilanzfehler <10 %).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 332 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

8.6 SPURENELEMENTE UND ELEMENTVERHÄLTNISSE

Die in einigen Messstellen des Asse-Höhenzuges gegenüber den geogenen Hintergrundwerten deutlich erhöhten Gehalte an bestimmten Elementen (z.B. Na, Cl, Mg) und Spurenelementen (z.B. Br, I, Li) sowie daraus abgeleitete Elementverhältnisse (z.B. das Cl/Br-Verhältnis), können wichtige Hinweise zur Genese der Grundwässer und insbesondere zur Herkunft des Salzgehaltes geben [Hoth et al. 1997; Kloppmann et al. 2001].

Während der Ausfällung von Halit reichert sich z.B. Brom in der residualen Lauge an, weil Brom durch seinen großen Ionenradius nicht mit der Halitstruktur kompatibel ist [Fontes & Matray 1993; Kloppmann et al. 2001]. Die Cl/Br-Verhältnisse von Meerwasser liegen üblicherweise im Bereich von 288 bis 292 (Verhältnisse aus den Werten in mg/l berechnet) bzw. 649 bis 658 (Verhältnisse aus den mmol(eq)/l berechnet). Während der Verdunstung von Meerwasser steigen die Konzentrationen von Chlor und Brom kontinuierlich an bis die Halit-Sättigung erreicht ist. Dementsprechend liegen die Cl/Br-Verhältnisse von reinem Steinsalz und von dessen Lösung abstammenden Wässern deutlich über den Werten für Meerwasser und können Werte von mehr als 2000 (Verhältnis aus den mmol(eq)/l berechnet) erreichen die z.T. typisch für das Zechstein-Salinar sind. Im Gegensatz dazu weisen Salzgesteine, die bedeutende Mengen an Kalisalzen, wie z.B. Sylvinit und Carnallit, enthalten, niedrige Cl/Br-Verhältnisse von unter 200 auf (Verhältnis aus den mmol(eq)/l berechnet). Für die Charakterisierung der Herkunft von Grund- und Formationswässern ist darüber hinaus wichtig, dass der Chlorid- und Bromidgehalt normalerweise nicht durch die Reaktion der Wässer mit den Gesteinen des GW-Leiters verändert wird, außer bei Lösung/Ausfällung von Evaporiten und/oder Reaktion der Wässer mit C_{org}-reichen Sedimenten [Hoth et al. 1997].

Die Bromidgehalte der Grundwässer des Asse-Deckgebirges weisen einen weiten Bereich zwischen Werten nahe der Nachweisgrenze von 1 mg/l, die hier deutlich oberhalb der geogenen Hintergrundwerte liegt (0,06 bis 0,08 mg/l), und sehr hohen Werten von bis zu etwa 3500 mg/l auf. Bromidgehalte die deutlich über der Nachweisgrenze liegen, d.h. >10 mg/l, treten dabei v.a. in den GWM H2 (max. 33,6 mg/l), H5 (80 bis 210 mg/l), H24b (266 bis 750 mg/l), P13 (7 bis 140 mg/l), P17 (34 bis 49 mg/l), R5 (690 bis 1300 mg/l), R6 (180 bis 320 mg/l), R7 (813 bis 1400 mg/l) und R8 (87 bis 3463 mg/l) auf. Weiterhin liegt der Bromidgehalt in Schacht Asse 3 (7 bis 210 mg/l) und Quelle M63 (27 bis 53 mg/l) deutlich über der Nachweisgrenze.

In Bezug auf die Cl/Br-Verhältnisse zeigen die Wasserproben aus dem Deckgebirge der Asse-Struktur überwiegend eine Verarmung an Bromid gegenüber der Meerwasser-Evaporationskurve (Abb. 8.44). Nur wenige Proben weisen eine deutliche Anreicherung an Bromid auf.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 333 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

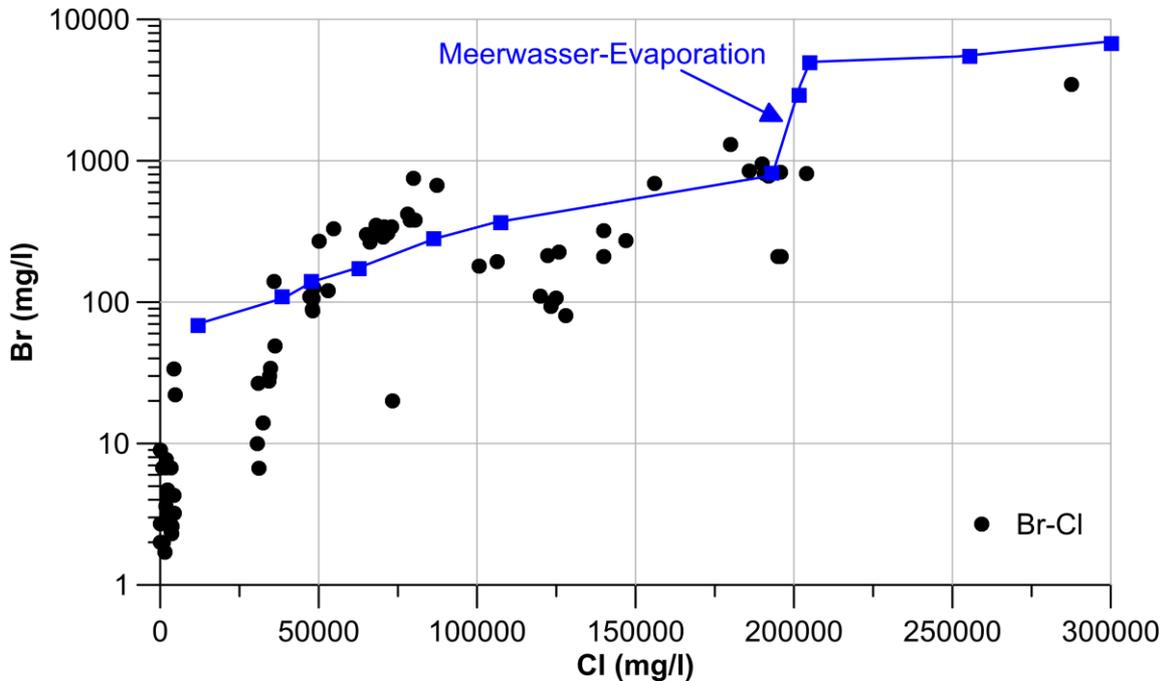


Abb. 8.44: Semilogarithmische Darstellung der Br/Cl-Verhältnisse der Proben aus den GWM des hydrogeologischen Messnetz (Jahre 2002 bis 2011). Die Meerwasser-Evaporationskurve wurde aus [Hoth et al. 1997] entnommen.

Bezogen auf einzelne Messstellen zeigt sich ebenfalls eine weite Streuung der Werte, z.T. sogar innerhalb der Analysendatensätze einer Messstelle (Abb. 8.45).

Ein Großteil der Proben liegt über dem für Meerwasser charakteristischen Cl/Br-Verhältnis von 650 (bezogen auf die Verhältnisse der mmol(eq)/l) und zeigt somit Lösung von Steinsalz an. Zumeist deutlich über einem Cl/Br-Verhältnis von 2000 liegen die Proben der Messstellen die im Mittleren Muschelkalk *mm* verfiltriert sind (GWM H6, H16, P13), die Proben der GWM H5 (residualer Zechstein) sowie die Proben aus Schacht Asse 3 (Abb. 8.45) und aus der Quelle M63 (nicht gezeigt). Der Salzgehalt dieser Wässer lässt sich genetisch i.W. auf die Lösung von Steinsalz zurückführen.

Nur wenige Messstellen liegen deutlich unter einem Cl/Br-Verhältnis von 650 bei einem Wert von <200 (z.T. in GWM H2, H7, P16, PN1-TP, PN2-FP) der theoretisch für die Lösung von Kalisalzen während der Genese dieser Wässer hindeuten kann. Dagegen spricht die sehr geringe Mineralisierung der Wässer in diesen GWM und die jeweils sehr geringen Konzentrationen der beiden Spurenstoffe.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 334 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

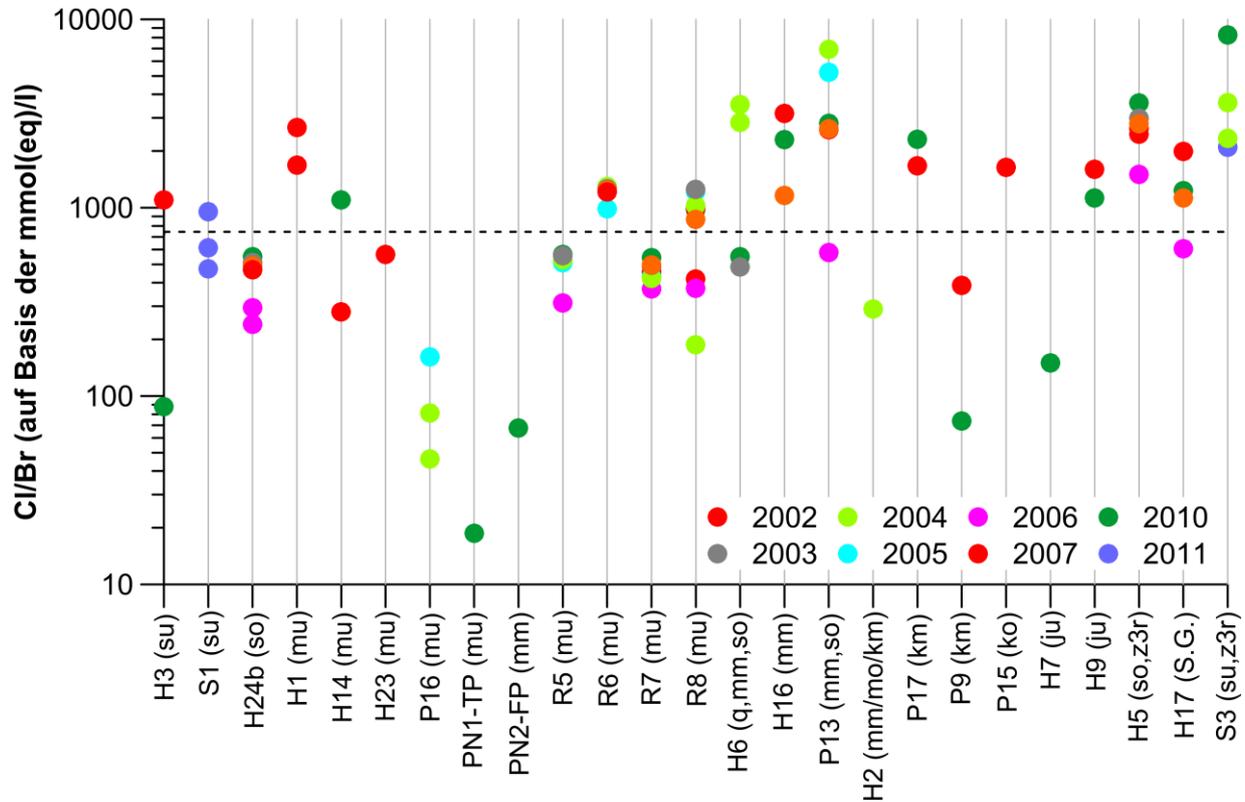


Abb. 8.45: Synoptische Darstellung der Cl/Br-Verhältnisse (aus den mmol(eq)/l berechnet) in den Proben aus den GWM des hydrogeologischen Messnetzes aus den Jahren 2002 bis 2011. Die graue gestrichelte Linie bei einem Cl/Br-Verhältnisse bei ca. 650 ist nach [Davis et al. 1998] für heutiges Meerwasser charakteristisch.

Das Spurenelement Iod ist als biophiles Element v.a. in organischem Material angereichert und kann bei dessen Zersetzung in die Porenlösung freigesetzt werden [Mattheß 1994]. Aufgrund der guten Wasserlöslichkeit über den gesamten pH-Bereich liegt in den natürlichen Wässern Iod meist als das stabile Iodid(I⁻)-Ion vor. Die Iodgehalte der meisten Süßwässer liegen unter der Nachweisgrenze hochauflösender analytischer Methoden, d.h. unter 0,01 mg/l. Höhere Werte im Bereich von 50 mg/l bis 100 mg/l werden in Zusammenhang mit phosphatreichen Sedimenten und in Ölfeldwässern beobachtet. Darüber hinaus ist Iod in tiefen Grundwässern Norddeutschlands deutlich gegenüber der Evaporationskurve des Meerwassers angereichert, wobei die höchsten Konzentrationen in Kohlenwasserstoff-Begleitwässern und somit vor allem im Rotliegenden und im Zechstein sowie auch im Keuper, Jura und Tertiär auftreten [Hoth et al. 1997].

Die fast ausschließlich an Proben aus den Jahren 2010 und 2011 bestimmten Konzentrationen des Spurenelementes Iod der Asse-Grundwässer liegen zumeist deutlich über der Nachweisgrenze von 1 mg/l und damit mehrere Größenordnungen über dem für vergleichbare silikatische und karbonatische GW-Leiter beschriebenen geogenen Hintergrundwert von 0,01 mg/l (Tab. 8.6).

Zu den Messstellen, die Proben mit entsprechend hohen Iodidkonzentrationen aufweisen, gehören GWM H7 (4 mg/l Iod), H24b (max. 12,2 mg/l), R5 (max. 31,7 mg/l), R7 (max. 21,2 mg/l), R8 (max.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 335 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

3,9 mg/l) sowie Schacht Asse 3 (max. 37 mg/l). Bei diesen Proben ergibt sich eine schwache Korrelation von erhöhten Iodidkonzentrationen mit dem Chloridgehalt (Abb. 8.46).

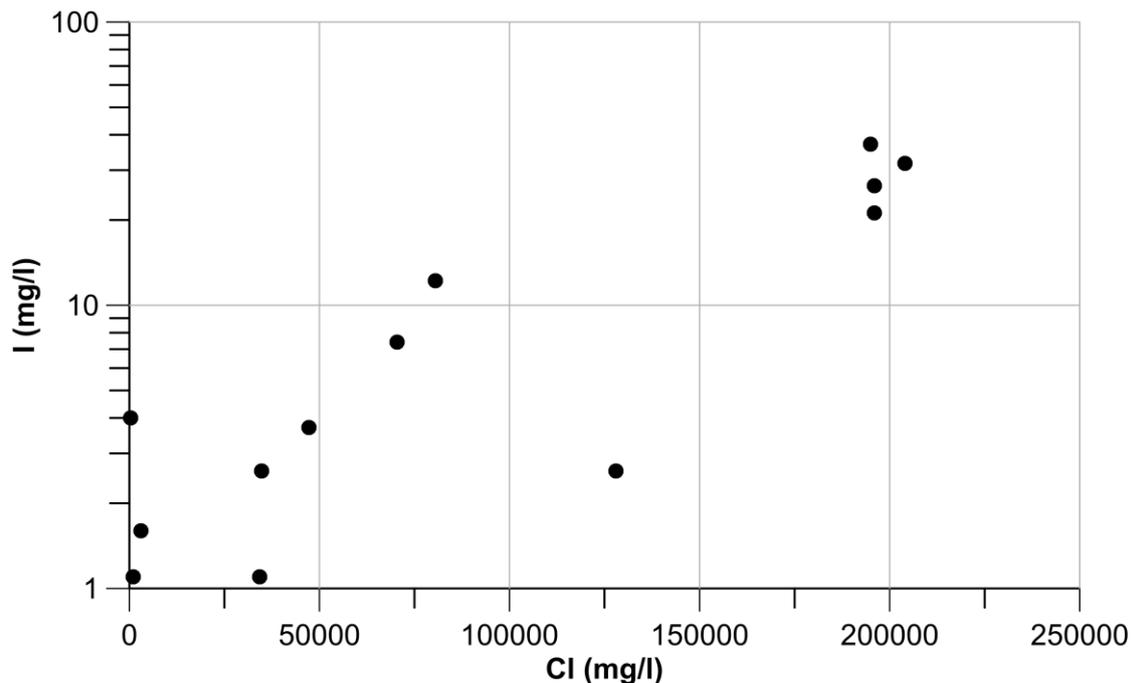


Abb. 8.46: I/Cl-Verhältnisse der Proben aus den GWM des hydrogeologischen Messnetzes aus den Jahren 2002 bis 2011.

Das Spurenelement Lithium kann in Magmatiten anstelle von Magnesium im Silikatgitter eingebaut werden und ist häufig in Pegmatiten und auch in Evaporiten und bestimmten Tonmineralen relativ angereichert [Mattheß 1994]. Seine Bindung bei Ionenaustausch ist relativ gering; nach Freisetzung bei der Verwitterung bleibt es bevorzugt in Lösung. Diagenetisch wird Lithium aus Tonmineralen erst bei der stark temperaturgesteuerten und auch von der Verfügbarkeit von Kalium abhängigen diagenetischen Umwandlung von Illit-Smektit über Illit zu Illit/Muskovit freigesetzt [Hoth et al. 1997]. Die Lithiumkonzentrationen im Grundwasser betragen meist zwischen 0,001 und 0,5 mg/l, nur in Thermalwässern ergeben sich Werte von bis zu 5 mg/l [Mattheß 1994].

Die Lithiumkonzentrationen der durch die Probennahmekampagnen 2002 bis 2011 bestimmten Analysendatensätze reicht von Werten, die der Nachweisgrenze entsprechen (0,1 mg/l), bis hin zu deutlich erhöhten Werten in den GWM H16 (bis 14,4 mg/l), H24b (bis zu 10,9 mg/l), P13 (bis zu 11,2 mg/l), P15 (bis 14,8 mg/l), P17 (bis zu 23,6 mg/l) sowie R5 (27,2 mg/l), R6 (bis 13,9 mg/l), R7 (bis 27,2 mg/l) und R8 (bis 4,4 mg/l). Die höchsten Lithiumkonzentrationen von 262 mg/l treten dabei in einer Probe der GWM H5 aus dem Jahr 2002 auf. Aus den Jahren vor 2002 liegen aber auch Lithiumkonzentrationen von mehr als 500 mg/l vor (z.B. in GWM H5 580 mg/l in 1981). Insgesamt liegt der Lithiumgehalt in den genannten Messstellen deutlich über dem Wertbereich von 0,01 bis 0,065 mg/l, der nach [Kunkel et al. 2004] die geogenen Hintergrundwerte für vergleichbare Grundwasserleitertypen repräsentiert.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 336 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

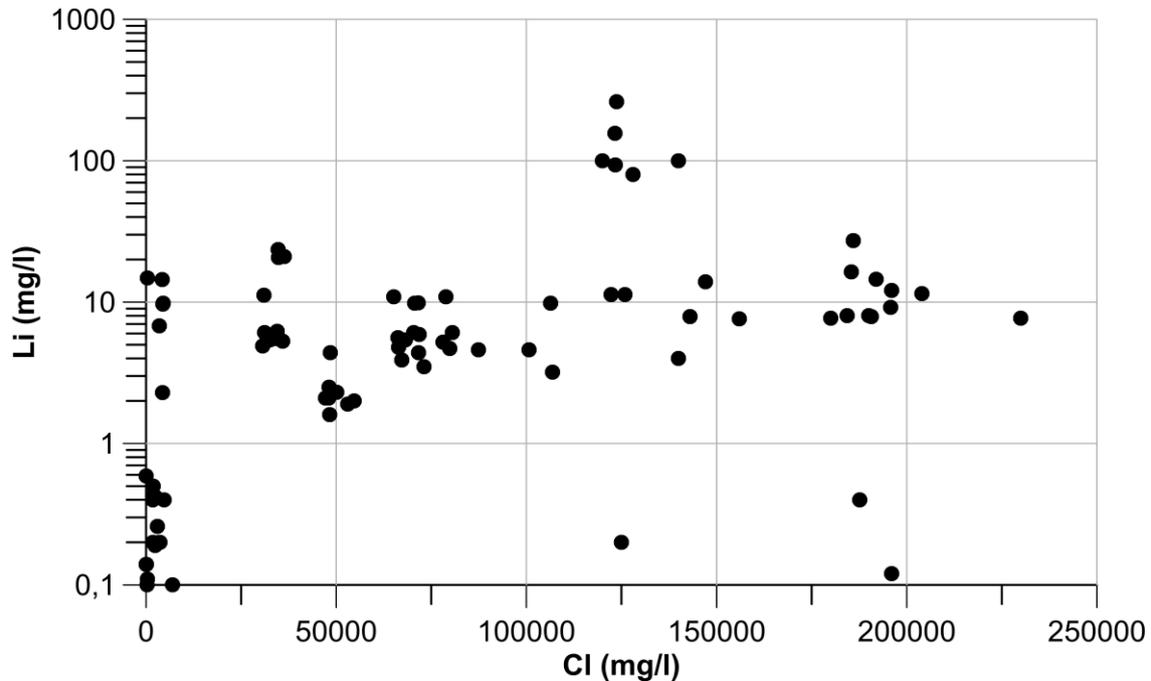


Abb. 8.47: Li/Cl-Verhältnisse der Proben aus den GWM des hydrogeologischen Messnetzes aus den Jahren 2002 bis 2011.

Erhöhte Fluorkonzentrationen treten häufig in Magmatiten, Pegmatiten und Sedimenten (v.a. Phosphatgesteinen) auf, die reich an fluorhaltigen Mineralen, wie z.B. Flussspat und Apatit, sind [Mattheß 1994]. Das Fluorid-Ion kann in diesen Gesteinen anstelle von Hydroxyl-Ionen an Mineraloberflächen gebunden sein. Aus dieser Bindung kann es jedoch bei hohen pH-Werten durch Hydroxyl-Ionen verdrängt werden. Im Wasser bildet Fluor F^- -Ionen, die mit Al, Be und Fe^{3+} stark lösliche Komplexe und, in Gegenwart von Bor, gemischte Fluorid-Hydroxid-Komplexe bilden können. Allerdings limitiert die Anwesenheit von Calcium im Grundwasser generell die Anreicherung von Fluorid, und hohe Fluoridanreicherungen werden daher v.a. in calciumarmen Grundwässern beobachtet [Hem 1985]. Nach [Mattheß 1994] liegen die typischen Fluorid-Konzentrationen in den meisten Grundwässern bei zumeist deutlich weniger als 1 mg/l (Tab. 8.8).

Die während der Probenkampagnen 2002 bis 2011 bestimmten Fluoridkonzentrationen in den Messstellen liegen überwiegend im Bereich von etwa 1 mg/l und z.T. unter der Nachweisgrenze von 0,07 mg/l. Nur wenige Proben zeigen etwas höhere Fluoridkonzentrationen (GWM H16 max. 2,54 mg/l; H23 1,2 mg/l; PN2-FP max. 1,65 mg/l). Es ergibt sich keine Korrelation der Fluorid- mit den Chloridkonzentrationen bzw. dem TDS. Die extrem hohen Fluoridkonzentrationen von 208 mg/l (GWM H7), 152 mg/l (M20) und 325 mg/l (M21) sind nicht über die Lithologie der angeschlossenen GW-Leiter erklärbar. Zudem erscheinen die extrem hohen Werte angesichts der hohen Calciumgehalte in den jeweiligen Analysendatensätzen als nicht plausibel. Somit ist sehr wahrscheinlich, dass es sich bei diesen extremen Fluoridkonzentrationen um einen Laborfehler (d.h. Ausreißer) handelt und sich daraus keine Hinweise auf die Genese der Grundwässer ergeben.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 337 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

9 GRUNDWASSERVERWEILZEITEN UND -FLIESSPFADE

Die Ziele der Isotopenuntersuchungen der Grundwässer des Asse-Deckgebirges sind: (i) die mittlere Verweilzeit des Grundwassers zu ermitteln, (ii) potenzielle Mischungen verschiedener Grundwässer zu detektieren und (iii) mögliche Fließpfade der Grundwässer aufzuzeigen. Darüber hinaus können die Isotopenuntersuchungen die im vorangegangenen Kap. 8 dargestellten hydrochemischen Untersuchungen stützen.

Um diese Ziele zu erreichen werden für das hydrogeologische Messnetz der Asse die Analysenergebnisse der Probennahmekampagne 2010-2011 sowie der Beprobungskampagne 2012¹ für vier Isotopensysteme ausgewertet:

- Tritium (³H) – Helium (³He)
- Kohlenstoff-14 (¹⁴C) – Kohlenstoff-13 (¹³C)
- Deuterium (²H) – Sauerstoff-18 (¹⁸O)
- Strontium-87/Strontium-86 (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)

Als Einführung werden in Kap. 9.1 nachfolgend kurz die wesentlichen Prinzipien und Anwendungen der Isotopensysteme in Bezug auf die Datierung von Grundwässern dargelegt bevor die jeweils verwendeten Methoden und die Datengrundlagen beschrieben werden. In Kap. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** bis 9.5 werden dann die Ergebnisse für die verschiedenen Isotopensysteme gezeigt, auf Plausibilität geprüft und erste Schritte der Interpretation aufgezeigt werden sowie – falls dies möglich ist – bestehenden Ergebnissen gegenübergestellt.

9.1 METHODIK UND DATENGRUNDLAGE

9.1.1 Tritium- und Heliumisotope

Aufgrund der kurzen Halbwertszeit des Tritiums (³H) von ca. 12,32 Jahren [Lucas & Unterweger 2000] und durch die mittels Kernwaffenversuchen in den 1950er- und 1960er-Jahre hervorgerufenen hohen ³H-Gehalte im Niederschlag, die um bis zu drei Größenordnungen über den natürlichen Gehalten lagen, wird ³H vielfach verwendet, um die Verweilzeit moderner Grundwässer, d.h. jünger als 50 Jahre, zu bestimmen. Die ³H-Gehalte werden dabei als absolute Konzentrationen gemessen und in Tritium Units (TU; 1 TU = ein ³H-Atom pro 10¹⁸ H-Atome) angegeben. Mittlerweile liegen die ³H-Gehalte der Niederschläge wieder im Bereich der natürlichen Werte vor den Kernwaffentests (3 TU bis 6 TU), so dass mit dieser Methode die Datierung der in den letzten 20 bis 30 Jahren infiltrierten Grundwässer nicht möglich ist [Süldenfuß & Massmann 2004].

¹ Im Unterschied zu Kap. 8, dass auf den Ergebnissen der hydrochemischen Beprobungen bis 2011 beruht (in 2012 wurden diesbezüglich keine neuen Daten erhoben), wurden für die isotopechemische Untersuchung auch Analysenergebnisse von Proben aus dem Jahr 2012 herangezogen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 338 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Diese Einschränkung der Anwendung lässt sich umgehen, wenn man zusätzlich zum Tritium noch das ^3H -Zerfallsprodukt ^3He (im Folgenden als tritiogenes ^3He , bzw. $^3\text{He}_{\text{tri}}$ benannt) misst [Solomon & Cook 2000; Sültenfuß & Massmann 2004; Sültenfuß et al 2011]. Das aus dem Zerfall des ^3H entstandene $^3\text{He}_{\text{tri}}$ reichert sich im Grundwasser an und ist gegenüber chemischen Einflüssen weitestgehend inert. Der $^3\text{He}_{\text{tri}}$ -Gehalt (Einheit: TU) wird aus der Messung des ^4He und des $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Verhältnisses abgeleitet. Die mit dieser Methode nach Gl. (9.1) berechneten ^3H - $^3\text{He}_{\text{tri}}$ -Alter sind unabhängig von der Ausgangskonzentration des ^3H und von daher können auch junge Grundwässer datiert werden.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \left(\frac{^3\text{He}_{\text{tri}}}{^3\text{H}} \right) \quad (9.1)$$

mit τ ^3H - $^3\text{He}_{\text{tri}}$ -Alter (a)
 λ Zerfallskonstante des $^3\text{H} = 0,05626 \text{ a}^{-1}$

Zusätzlich erhält man durch Bildung der Summe von ^3H und $^3\text{He}_{\text{trit}}$ eine Abschätzung der Verdünnung mit ^3H -freiem Wasser, d.h. mit Wasser, das vor den 1950er-Jahren infiltriert ist. Dazu vergleicht man die Summe aus ^3H und $^3\text{He}_{\text{trit}}$ mit der für den Untersuchungsstandort gemessenen oder abgeschätzten ^3H -Niederschlagskonzentration zum ermittelten Infiltrationszeitraum.

Bei der Anwendung der ^3H - $^3\text{He}_{\text{tri}}$ -Methode ist zu berücksichtigen, dass der $^3\text{He}_{\text{tri}}$ -Anteil von ^3He anderer Quellen (i.W. aus der Atmosphäre) abgetrennt werden muss [Sültenfuß & Massmann 2004]. Dies geschieht üblicherweise durch die Analyse des Ne-Gehaltes im Grundwasser, die z.B. den Einfluss atmosphärischer Gase anzeigen kann. Auch wird bei der ^3H - $^3\text{He}_{\text{tri}}$ -Methode die Transportzeit im ungesättigten Bereich des GW-Leiters nicht berücksichtigt, da sich $^3\text{He}_{\text{tri}}$ erst akkumulieren kann, wenn der Kontakt des Wassers mit der Atmosphäre unterbunden ist.

Eine weitere Anwendung der ^3H - $^3\text{He}_{\text{tri}}$ -Datierung ist die qualitative Abschätzung der Verweilzeiten von „alten“ Grundwässern auf Basis des bei dieser Methode bestimmten radiogenen $^4\text{He}_{\text{rad}}$, welches durch α -Zerfall von U- und Th-Nukliden in der Matrix des GW-Leiters entsteht [Solomon 2000]. Unter Annahme einer konstanten $^4\text{He}_{\text{rad}}$ -Akkumulationsrate steigt die $^4\text{He}_{\text{rad}}$ -Konzentration im Wasser mit der Zeit linear an, und kann somit Verweilzeiten von Grundwässern im Bereich zwischen 10^3 bis 10^8 Jahren anzeigen sofern der ^4He -Fluss aus dem Erdmantel vernachlässigbar gering ist (vgl. [Solomon 2000]; [Torgersen & Stute 2013]).

Die Tritium (^3H) und $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Isotopenanalytik der Grundwässer wurde im Isotopenlabor des Instituts für Umweltphysik (Abteilung Ozeanographie) der Universität Bremen durchgeführt. Zur Analyse der Tritiumkonzentration werden Wasserproben aus 1 l-Glasflaschen verwendet. Im Labor wird das Wasser vollständig entgast und in Glaskolben gelagert. Während der Lagerzeit akkumuliert ^3He aus dem Zerfall von ^3H . Nach einigen Wochen bzw. Monaten (je nach geschätzter Tritiumkonzentration der Probe) wird das akkumulierte ^3He im Massenspektrometer nachgewiesen. Mit diesem sogenannten ^3He -Anwachs-Verfahren („in-growth method“; [Clarke et al. 1976]) können Tritiumkonzentrationen von 0,01 TU nachgewiesen werden (Nachweisgrenze für 500 g Probenmasse und 6 Monate Anwachszeit), der 2σ -Vertrauensbereich beträgt dabei 3 % [Sültenfuß 1998].



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 339 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Zur Analyse der Edelgase He und Ne wird die Wasserprobe blasenfrei in ein Kupferrohr (Volumen ca. 40 ml) gefüllt und zugeklemt. Im Labor wird dem Wasser das Gas vollständig entzogen und in Glasampullen überführt. Zur Messung der Edelgase He und Ne wird eine Ampulle in einem Hochvakuumsystem geöffnet. Alle Gase werden dann mithilfe von Wasserdampf auf Tieftemperaturfallen transferiert. Bei einer Temperatur von 25 K werden He und Ne von anderen Gasen getrennt. Ein Teil des He-Ne-Gasgemisches wird in einem Quadrupolmassenspektrometer (Pfeiffer QMG 112) auf ^4He , ^{20}Ne und ^{22}Ne analysiert. Mit einer weiteren Tieftemperaturfalle mit einer Temperatur vor 14 K wird das verbleibende He und Ne auf Aktivkohle gebunden. Nach dem Aufheizen auf 45 K desorbiert nur He, welches anschließend in einem Sektorfeldmassenspektrometer (MAP 215-50) auf ^3He und ^4He analysiert wird. Das System wird mit atmosphärischer Luft kalibriert. Die Messgenauigkeit (2σ -Vertrauensbereich) beträgt für die $^3\text{He}/^4\text{He}$ - und die $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ -Verhältnisse jeweils 0,4 % und für die Isotopenkonzentrationen 0,7 % [Roether et al. 1998].

Der relative Anteil der atmosphärischen Luft in den Proben wird durch die Abweichung der Neonkonzentration vom Lösungsgleichgewicht (in %) dargestellt (δNe). Ein positiver δNe -Wert zeigt einen Überschuss atmosphärischer Luft an, ein negativer Wert, dass Entgasung stattgefunden hat.

Die gemessene Konzentration von $^4\text{He}_{\text{rad}}$ (aus den α -Zerfallsreihen der U- und Th-Nuklide) im GW-Leiter wird in Nml/kg (= Norm-Milliliter pro kg) angegeben. Mit der Produktion von $^4\text{He}_{\text{rad}}$ ist auch eine geringe Produktion von ^3He verbunden. Das bei den vorliegenden Analysen verwendete $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Verhältnis für radiogenes He beträgt $2 \cdot 10^{-6}$. Für die Auftrennung von ^3He wurde angenommen, dass die Temperatur des Wassers bei der Infiltration von der Jahresdurchschnittstemperatur von 10 °C nicht mehr als 1 °C abweicht (vgl. Kap. 5.2, der Mittelwert der Lufttemperatur am Standort Asse liegt für den Zeitraum 2002 bis 2011 bei 9,5 °C).

Die Fehler für die ermittelten Konzentrationen von $^3\text{He}_{\text{tri}}$, d.h. ^3He aus dem ^3H -Zerfall, resultieren aus der Trennung verschiedener Quellen für ^3He und variieren mit dem Luftüberschuss bzw. Luftverlust und der Konzentration von $^3\text{He}_{\text{rad}}$, d.h. dem ^3He aus dem α -Zerfall von Radionukliden der U- und Th-Zerfallsreihen. Für typische flache GW-Körper beträgt der Fehler von $^3\text{He}_{\text{tri}}$ ca. 1 TU. Für Proben mit hohen Konzentrationen von $^3\text{He}_{\text{rad}}$ ist tritogenes $^3\text{He}_{\text{tri}}$ nicht verlässlich nachweisbar.

9.1.2 Kohlenstoffisotope

Der Hauptanwendungsbereich der ^{14}C -Isotope im gelösten anorganischen und organischen Kohlenstoffs („DIC“ und „DOC“) des Grundwassers ist die Bestimmung von Verweilzeiten bis hin zu 60 000 Jahren. Das instabile ^{14}C bildet sich in der Atmosphäre aus Stickstoff und gelangt über das atmosphärische CO_2 der Bodenzone als DIC und DOC in das Grundwasser. Zur Datierung wird die Konzentration von ^{14}C im Grundwasser gemessen und als „percent Modern Carbon“ („pMC“) eines internationalen Standards angegeben.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 340 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Das per Definition auf das Jahr 1950 und auf einen $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von -25‰ bezogene, sogenannte konventionelle ^{14}C -Alter¹ berechnet sich gemäß Glg. (9.2):

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \cdot \ln \left(\frac{A_{\text{Probe}}}{A_{\text{Standard}}} \Big|_{1950} \right) \quad (9.2)$$

mit τ Konventionelles ^{14}C -Alter (a)

$T_{1/2}$ Halbwertszeit des ^{14}C von 5568 Jahren (Libby-Halbwertszeit)

Neben geringen Schwankungen des natürlichen ^{14}C -Gehaltes im Bereich von 10 % durch Veränderungen der Strahlungsbedingungen, liegt eine Schwierigkeit dieser Methode darin, die Anfangskonzentration („ A_0 “) des ^{14}C im DIC und DOC des Grundwassers abzuschätzen. Weiterhin kann diese ^{14}C -Ausgangskonzentration durch zusätzliche Reaktionen verringert werden, u.a. durch Lösung von fossilen Karbonatgesteinen die kein ^{14}C enthalten [Clark & Fritz 1997]. Um realistische ^{14}C -Alter zu erhalten, muss der Einfluss dieser Prozesse auf den ^{14}C -Gehalt berücksichtigt werden.

Um die Veränderungen des ^{14}C -Ausgangsgehaltes durch die o.g. hydro- und isotopenchemischen Prozesse bei der ^{14}C -Datierung des Grundwassers zu berücksichtigen, können verschiedene hydrochemische Modelle herangezogen werden [Clark & Fritz 1997] die z.B. in der Software NET-PATH [Plummer et al. 1994] integriert sind.

Das stabile ^{13}C im DIC und DOC des Grundwassers liefert Hinweise auf die Herkunft des Kohlenstoffs sowie auf eine Reihe von Reaktionen zwischen anorganischen und organischen Kohlenstoffverbindungen [Clark & Fritz 1997]. Daraus können beispielsweise Fließpfade, Reaktionen im ungesättigten Bereich sowie Prozesse im GW-Leiter abgeleitet werden, die u.a. benötigt werden, um die o.g. Veränderungen des ursprünglichen ^{14}C -Gehaltes im Grundwasser abzuschätzen.

Aus messtechnischen Gründen wird das gemessene $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnis des Kohlenstoffs entsprechend Glg. (9.3) als Abweichung ($\delta^{13}\text{C}$) von einem internationalen Standard V-PDB („Vienna - Pee Dee Belemnite“) in Promille angegeben:

$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{Probe}}}{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{Standard}}} - 1 \right) \cdot 1000 \text{‰ V - PDB} \quad (9.3)$$

Die Analytik der Kohlenstoffisotope erfolgte im Leibniz Labor für Altersbestimmung und Isotopenforschung der Christian-Albrechts-Universität Kiel. Die Wasserproben (100 ml Kunststoffflaschen) wurden dazu mit Reinststickstoff über ein 0,2 μm -Filter in eine zuvor evakuierte und unter Stickstoff-Schutzgas gesetzte Präparationsanlage (Hochvakuumstandard) gedrückt, mit entgaster

¹ Konventionelle ^{14}C -Alter werden aus Gründen der Vergleichbarkeit mit bisherigen Messungen per Definition mit der "falschen" Libby-Halbwertszeit von 5568 Jahren (anstatt 5730 Jahren).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 341 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

30 %-iger Phosphorsäure (H_3PO_4) versetzt, das CO_2 mit Stickstoff ausgespült und kryotechnisch präpariert. Das Verhältnis der stabilen $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Kohlenstoffisotope wurde an diesen Präparaten mittels Gasisotopen-Massenspektrometer mit Doppeleinlaß bestimmt. Die Messgenauigkeit (2σ -Vertrauensbereich) liegt bei $\pm 0,1$ ‰ V-PDB.

Für die ^{14}C -Messung mittels Beschleunigungs-Massenspektrometrie (accelerator mass spectrometry, „AMS“) wurde das extrahierte CO_2 anschließend mit Wasserstoff bei 600 °C über einen Eisen-Katalysator zu Graphit reduziert und das Eisen-Graphit-Gemisch in einen Probenhalter für die AMS-Messung gepresst. Jede Probe wurde jeweils im Verschnitt mit Standard- und Nulleffektproben in mehreren Einzelintervallen gemessen.

Die ^{14}C -Konzentration der Probe ergibt sich aus dem Vergleich der simultan ermittelten ^{14}C , ^{13}C und ^{12}C Gehalte mit denen des CO_2 -Meßstandards (Oxalsäure II) sowie geeigneter Nulleffektproben. Sie wird als Prozentwert des Standards (pMC) angegeben, mit einer Korrektur auf Isotopenfraktionierung anhand des gleichzeitig mittels AMS gemessenen $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnisses. Dieser $\delta^{13}\text{C}$ -Wert enthält auch die Effekte der während der Graphitisierung und in der AMS-Anlage auftretenden Isotopenfraktionierung und ist deshalb nicht direkt vergleichbar mit den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten, die an den Proben mittels eines CO_2 -Massenspektrometers (Isotope-Ratio Mass Spectrometer, „IRMS“), gemessen werden.

Die Unsicherheit des ^{14}C -Ergebnisses berücksichtigt Zählstatistik, Stabilität der AMS-Anlage und Unsicherheit im subtrahierten Nulleffekt. Für die ersten beiden Einflussfaktoren wurden die Zählstatistik und die beobachtete Streuung der Messintervalle verglichen und es wurde der jeweils größere Wert verwendet. Die Genauigkeit der Radiokarbonalter für Proben die jünger als 2000 Jahre sind und ausreichende Kohlenstoffgehalte (ca. 1 mg bis 2 mg) aufweisen ist besser als 0,5 % (meist 0,3 % bis 0,4 %). In Bezug auf die konventionellen ^{14}C -Alter entspricht dies einer $1\text{-}\sigma$ Messunsicherheit von ± 40 Jahren (25 bis 30 Jahren) des Probenalters.

9.1.3 Wasserisotope

Die beiden stabilen Isotope Deuterium (^2H) sowie Sauerstoff-18 (^{18}O) die im Wassermolekül vorkommen, verhalten sich chemisch konservativ und gelten somit als ideale Tracer. Darüber hinaus weisen diese beiden stabilen Isotope aufgrund von Fraktionierungsprozessen während der Verdunstung und Kondensation charakteristische Gehalte im Niederschlag sowie in Oberflächengewässern auf [Clark & Fritz 1997].

Aus messtechnischen Gründen werden diese Isotopengehalte als Verhältnis ($^2\text{H}/^1\text{H}$ sowie $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) gemessen und als Abweichung ($\delta^2\text{H}$ bzw. $\delta^{18}\text{O}$) von einem internationalen Standard V-SMOW („Vienna Standard Mean Ocean Water“) in Promille angegeben, wie dies exemplarisch für $\delta^{18}\text{O}$ in Glg. (9.4) gezeigt ist.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 342 von 522
9A	22100000	HGG	R	0003	00		Stand: 27.08.2014

$$\delta^{18}\text{O} = \left(\frac{\left(\begin{array}{c} \text{18} \\ \text{O} \\ \text{16} \\ \text{O} \end{array} \right)_{\text{Probe}}}{\left(\begin{array}{c} \text{18} \\ \text{O} \\ \text{16} \\ \text{O} \end{array} \right)_{\text{Standard}}} - 1 \right) \cdot 1000 \text{‰ V - SMOW} \quad (9.4)$$

Die $\delta^2\text{H}$ - bzw. $\delta^{18}\text{O}$ -Werte des Niederschlag widerspiegeln die saisonale Verteilung von Temperatur und Niederschlag, die geografische Breite und Höhe der Standorte, an denen die Isotope gemessen werden, sowie die Entfernung von der Küste bzw. vom ozeanischen Quellgebiet der Niederschläge. Die bestimmenden Parameter und Prozesse sind u.a. Feuchtigkeit, Temperatur, Verdunstung, Grad der Kondensation und Höhenlage. Dabei verursacht die Kondensation von atmosphärischem Wasserdampf zu Wolken und Niederschlag unter Gleichgewichtsbedingungen parallele und proportionale Änderungen der $\delta^2\text{H}$ - und der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Niederschlag und im zurückbleibenden Wasserdampf. Als Folge davon sind die beiden Isotopenwerte im Niederschlag linear korreliert und liegen global betrachtet bzw. für einen Standort annähernd auf einer Geraden (benannt als Global Meteoric Water Line „GMWL“ bzw. Local Meteoric Water Line „LMWL“), mit jeweils negativeren Werten für den Winterniederschlag und positiveren für den Sommerniederschlag. Die Gleichung für die GMWL nach [Craig 1961] lautet wie folgt:

$$\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10 \quad (9.5)$$

Die $\delta^2\text{H}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von Grundwässern liegen normalerweise im Bereich der Niederschlagsgeraden für das Einzugsgebiet mit Abweichungen von ca. $\pm 0,5 \text{‰}$ für ^{18}O und $\pm 5 \text{‰}$ für $\delta^2\text{H}$ [Darling et al. 2005]. Größere Abweichungen von dieser Niederschlagsgeraden ergeben sich z.B. wenn das Grundwasser durch Evaporation beeinflusst wird. Weiterhin lassen sich Grundwässer abgrenzen, die während klimatisch von heute verschiedener Perioden gebildet wurden [Clark & Fritz 1997].

Die Konzentration der stabilen Wasserisotope Deuterium (^2H) und Sauerstoff-18 (^{18}O) wurde im Labor für Stabile Isotope (LSI) Halle am Umweltforschungszentrum (UFZ) Leipzig analysiert. Die Wasserproben (100 ml Kunststoffflaschen) werden dafür in einem Picarro L1102-i mittels Laser Absorptions Spektroskopie („CRDS“; Cavity Ring-Down Spectroscopy) analysiert (Details zur Methodik in [Lis et al. 2007] und [Gupta et al. 2009]). Dabei wird mittels eines Infrarotlasers die zeitliche Spektrolsignatur der Wassermoleküle bestimmt. Diese ist abhängig von der Molekülmasse. Mittels des CRDS-Systems können die ^2H - und ^{18}O -Konzentrationen gleichzeitig analysiert werden. Die Messgenauigkeit liegt bei diesem System bei $<0,5 \text{‰}$ für $\delta^2\text{H}$ und bei $<0,1 \text{‰}$ für $\delta^{18}\text{O}$, und es lassen sich auch hochkonzentrierte Salzlösungen zuverlässig messen.

Als LMWL für den Standort Asse können Daten der GNIP-Station Braunschweig (Nr. 1034800; $52^\circ 18' 0'' / 10^\circ 27' 0''$; 88 mNN) verwendet werden [IAEA/WMO 2006]. Für diese Station ergeben sich für die Zeitreihe 1978 bis 2005 mittels Regressionsanalyse die in Glg. (9.6) genannte LMWL:

$$\delta^2\text{H} = 7,95 \cdot \delta^{18}\text{O} - 4,25 \quad (9.6)$$



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 343 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

9.1.4 Strontiumisotope

Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse werden bei hydrogeologischen Fragestellungen i.W. zur Charakterisierung von Fließpfaden und Gesteins-Wasser-Wechselwirkungen des Grundwassers verwendet. Der überwiegende Teil des ^{87}Sr ist radiogenen Ursprungs und entsteht durch den β -Zerfall von ^{87}Rb , während das ^{86}Sr eine konstante Häufigkeit besitzt. Somit ist das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis einerseits vom Rb-Gehalt der Gesteine abhängig. Andererseits widerspiegelt es, bei marinen sedimentären (Karbonat-) Gesteinen, auch die Sr-Isotopie des Paläo-Meerwassers, das im Verlauf der Erdgeschichte charakteristische Schwankungen aufweist. Durch Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen wird Sr im Grundwasser gelöst. Dabei findet nahezu keine Fraktionierung der Sr-Isotope statt. Somit sind die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse des gelösten Sr^{2+} im Grundwasser primär abhängig von den Rb/Sr-Verhältnissen der Gesteine des GW-Leiters [Faure & Mensing 2005]. Mittels der Bestimmung des Sr-Gehaltes kann zudem die Mischung verschiedener Grundwassertypen detektiert werden. Das am gelösten Sr^{2+} gemessene Verhältnis der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotope wird dabei üblicherweise direkt ohne Bezug auf einen externen Standard angegeben.

Durch einen Vergleich der an den Grundwässern bestimmten $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse und Sr-Gehalte mit den entsprechenden, an den Festgesteinsproben der GW-Leiter gemessenen Werten können Rückschlüsse zur Herkunft des gelösten Sr gezogen werden. Mit diesen Informationen können u.a. Fließpfade des Grundwassers bestimmt werden. Weiterhin lassen sich damit die möglichen Mischungen verschiedener Grundwassertypen bzw. die Zumischung von Oberflächenwasser detektieren.

Die Analyse des $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopenverhältnis wurde im Labor des Geowissenschaftlichen Zentrums der Universität Göttingen durchgeführt. Die Wasserproben (100 ml Kunststoffflaschen) wurden entsprechend den Standardmethoden in [Faure & Mensing 2005] vorbereitet um das Strontium zu separieren. Anschließend wurde das Verhältnis der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopen der Wasserproben mittels Thermionen-Massenspektrometrie („TIMS“) an einem TRITON TI (Thermo Electron Corporation) der Abteilung Isotopengeologie (GZG) der Universität Göttingen analysiert.

Die gemessenen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopenverhältnisse sind korrigiert für Spike (zwecks Isotopenverdünnung zugegebener Sr-Standard), Blank (Leerprobe) und Massenfraktionierung während der Messung. Für den während des Analysenzeitraumes zur Überwachung der Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Messwerte ebenfalls gemessenen Standard NBS 987 ergab sich ein $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis von 0,710253 mit einer Standardabweichung 2σ von 0,000063 (14 Proben). Der 2σ -Standardfehler der gemessenen Proben ist jeweils zusammen mit den Analyseergebnissen in Tabelle A.14 und A.15 angegeben.

9.1.5 Datengrundlage

Der überwiegende Teil der Proben für die isotochemischen Untersuchungen wurde im Verlauf der Sommermonate 2010 und 2011 genommen. Da während dieser Probennahmekampagne ein Teil der Messstellen nicht für die Isotopenhydrochemie beprobt werden konnte, wurden diese Messstellen im Jahr 2012 nachbeprob. Um hier ein vollständiges Bild der Isotopenanalysen des Asse-Deckgebirges zu zeigen, werden diese Daten im Rahmen dieses Berichtes ebenfalls berücksich-



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 344 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

sichtigt und sind somit im Anlagenband mit den hydrogeologischen Daten 2012 nicht nochmals aufgeführt.

Hervorzuheben ist, dass im Rahmen dieses Berichts keine Zeitreihen betrachtet werden, sondern nur Ergebnisse der Probennahmekampagne 2010/2011 sowie 2012. Dabei wurden aus den Messstellen (GWM und M-Messstellen) Proben z.T. aus verschiedenen Tiefenlagen genommen und auf ihre isotopenchemische Zusammensetzung untersucht.

Eine Übersicht der Proben mit den jeweiligen Messstellen, Datum, Entnahmetiefen und Untersuchungsmethoden ist im Anhang F in den Tabellen F.1 (Probennahmejahr 2010), F.2 (2011) und F.3 (2012) gegeben.

Frühere Isotopendaten entstammen durchwegs den hydrogeologischen Forschungsprogrammen in den 1970er- und 1980er-Jahren [GSF 1994]. Aus diesen Untersuchungen liegt ein Datensatz mit Tritiumanalysen als Einzelproben und als Zeitreihen für mehrere GWM- und M-Messstellen der Asse aus den Jahren 1982 bis 1985 vor. Eine Datierung der Asse-Grundwässer mittels der ^3H - ^3He -Methode wurde jedoch nicht durchgeführt.

Weiterhin wurde für einen Teil der GWM- und M-Messstellen des Asse-Höhenzuges $\delta^{13}\text{C}$ - und ^{14}C -Analysen der Grundwässer [GSF 1994] durchgeführt. Mittels des Computerprogramms PHREEQE [Parkhurst & Appelo 1994] wurden daraus – und unter Einbeziehung hydrochemischer Daten der Wasserproben – für diese die jeweiligen ^{14}C -Modellalter berechnet.

Studien zu den $\delta^2\text{H}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werten der Grundwässer des Asse-Höhenzuges sowie zu den im Grubengebäude aufgefangenen Zutrittslösungen wurden durch GSF [1994] und durch [GSF 2002a] durchgeführt. Auf die Ergebnisse dieser Studien wird in Kap. 9.4 Bezug genommen.

Weiterhin wurden in [GSF 2002a] Schwefelisotopen am Sulfat sowie ^{18}O -Messungen am Sulfat für die Grundwässer des Deckgebirges sowie für die gefasste Zutrittslösung im Grubengebäude Asse II bestimmt. Auf die Ergebnisse dieser Untersuchungen wird im folgenden Kapitel nur bedingt Bezug genommen. Die wichtigsten Ergebnisse in [GSF 2002a] lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- In 14 aus 28 Grundwässern des Asse-Deckgebirges wurde im gelösten Sulfat $\delta^{34}\text{S}$ -Isotopensignaturen gefunden, die mit dem jeweils erschlossenen GW-Leiter identisch sind.
- In 6 der untersuchten Grundwässer sind nachweislich Sulfate in den GW-Leiter am Ort der GWM eingewandert:
 - In GWM H23, R5 und R7 sind Sulfate aus dem Oberen Buntsandstein in den Unteren Muschelkalk eingewandert.
 - In GWM H16 treten Sulfate aus dem Röt in durch diese GWM erschlossenen Schichten des Mittleren Muschelkalk auf.
- Die $\delta^{34}\text{S}$ -Isotopensignatur der Zutrittslösungen auf der 637-/658-m- und 725-/750-m-Sohle) entspricht i.W. der des Zechstein bzw. der des Unteren Buntsandstein und Mittleren Buntsandstein während der ^{18}O -Gehalt der Sulfate für eine Herkunft aus dem Zechstein spricht.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 345 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Für einen Teil der Schichtenfolgen und der Grundwässer des Asse-Deckgebirges sowie für die im Grubengebäude zutretenden Lösungen wurden während der Jahre 2002 bis 2003 Jahre $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse bestimmt [Schmidt 2006]. Auf diese Daten wird im Kap. 9.5 Bezug genommen.

9.2 TRITIUM- UND HELIUMISOTOPE

Die Ergebnisse der ^3H - ^3He -Isotopenanalysen sind in Abb. 9.1 graphisch dargestellt. Die Messwerte sind in Tab. F.4 (GWM) und Tab. F.5 (M-Messstellen) aufgeführt. In allen Proben liegen die ^3H -Gehalte über der Nachweisgrenze. Der überwiegende Teil der Proben weist ^3H -Gehalte zwischen ca. 3 TU und ca. 8 TU auf. Die geringsten ^3H -Gehalte weisen die R-Messstellen auf (R5: 0,08 TU; R7: 0,17 TU; R8: 0,48 TU). Den höchsten ^3H -Gehalt (10,5 TU) besitzt die Probe aus der GWM H6.

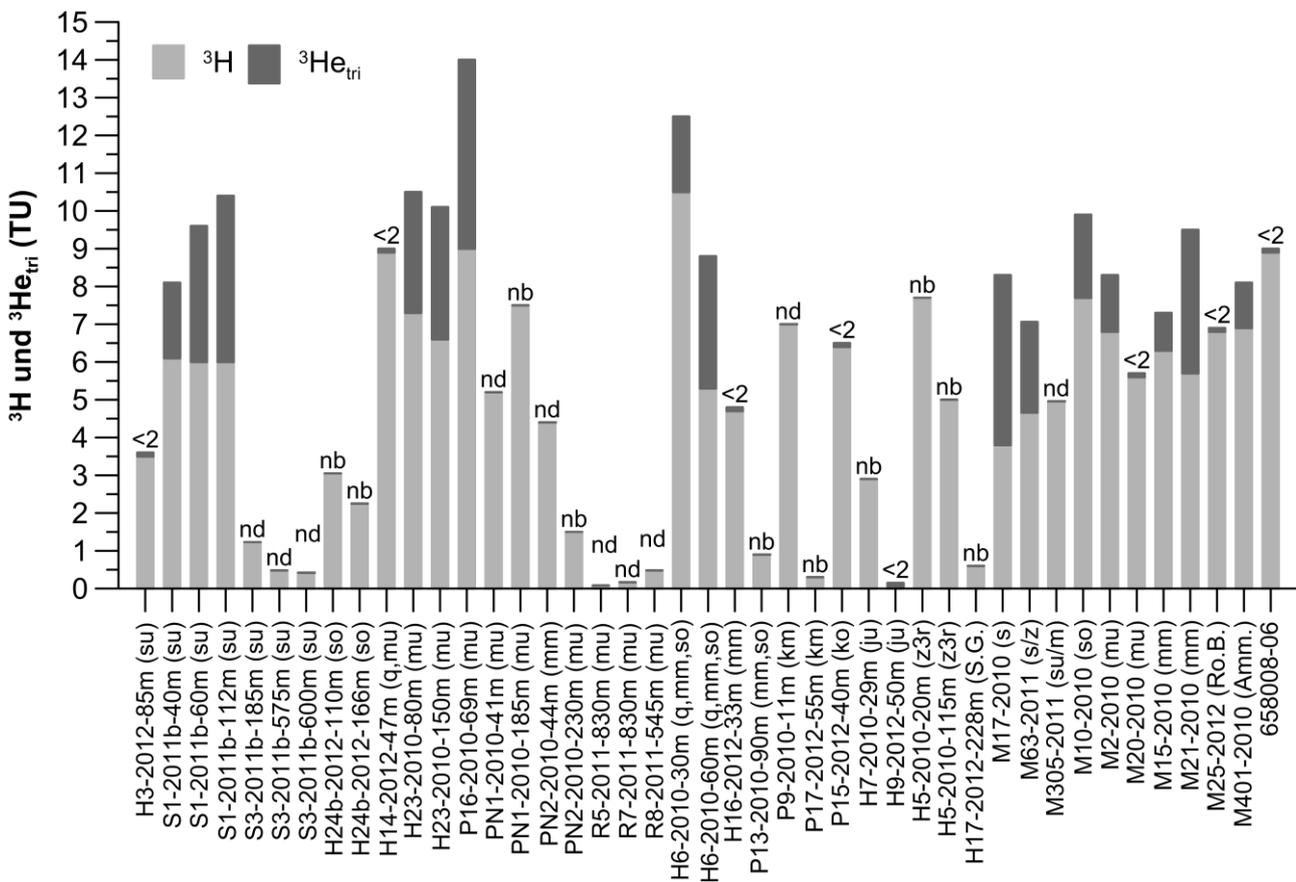


Abb. 9.1: Darstellung der ^3H - und der $^3\text{He}_{\text{tri}}$ -Konzentration in den Wasserproben des Asse-Deckgebirges inklusive einer Probe („658008-06“) aus dem gefassten Lösungszutritt des Grubengebäudes (L658008; 658-m-Sohle; Südflanke). Die Zahlen über den Säulen sowie die Abkürzungen „nd“ = nicht detektiert und „nb“ = nicht bestimmt, beziehen sich auf das $^3\text{He}_{\text{tri}}$. Weiterhin: „Ro.B.“ = Rothebach, „Amm.“ = Ammerbeek.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 346 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Belastbare $^3\text{He}_{\text{tri}}$ -Werte konnten aufgrund der Gasüberschüsse und der hohen He-Konzentrationen nur für ein Teil der Proben aus den ^3He -Konzentrationen abgetrennt werden (Abb. 9.1). Für diese Proben ergeben sich $^3\text{He}_{\text{tri}}$ -Gehalte zwischen 0,5 und 4,5 TU (Proben aus den Jahren 2011 und 2012). Die im Jahr 2012 genommenen Proben, bei denen ^3He analysiert wurde, weisen eine geringe $^3\text{He}_{\text{tri}}$ -Konzentration auf (in den Analysendaten und in Abb. 9.1 als <2 TU beziffert).

Die aus den ^3H - und ^3He -Konzentrationen berechneten ^3H - $^3\text{He}_{\text{tri}}$ -Alter liegen zwischen 0 und 14 Jahren (Abb. 9.2). Für die Proben aus GWM H3, H14, H16, P15, dem Rothebach (M25) und dem gefassten Lösungszutritt („658008-06“) in der Südflanke des Asse-Grubengebäudes (L658008, 658-m-Sohle, vormals als AS011 benannt), liegt die $^3\text{He}_{\text{tri}}$ -Konzentration bei <2 TU (nicht gezeigt in Abb. 9.2). Dementsprechend lässt sich für diese Proben das Infiltrationsalter auf <10 Jahren angeben. Für die Probe PN2-FP ist im Laborreport ein Alter von 9 Jahren genannt. Dieser Wert ist mit den gegebenen Daten (^3H : 4,4 TU; $^3\text{He}_{\text{tri}}$: 0 TU) nicht kompatibel und ist wahrscheinlich ein Übertragungsfehler. Insgesamt ist bei diesen Angaben zu berücksichtigen, dass die errechneten ^3H - $^3\text{He}_{\text{tri}}$ -Alter nur dann den Verweilzeiten im GW-Leiter entsprechen, wenn rein advektiver Transport („piston-flow“) zugrunde gelegt wird.

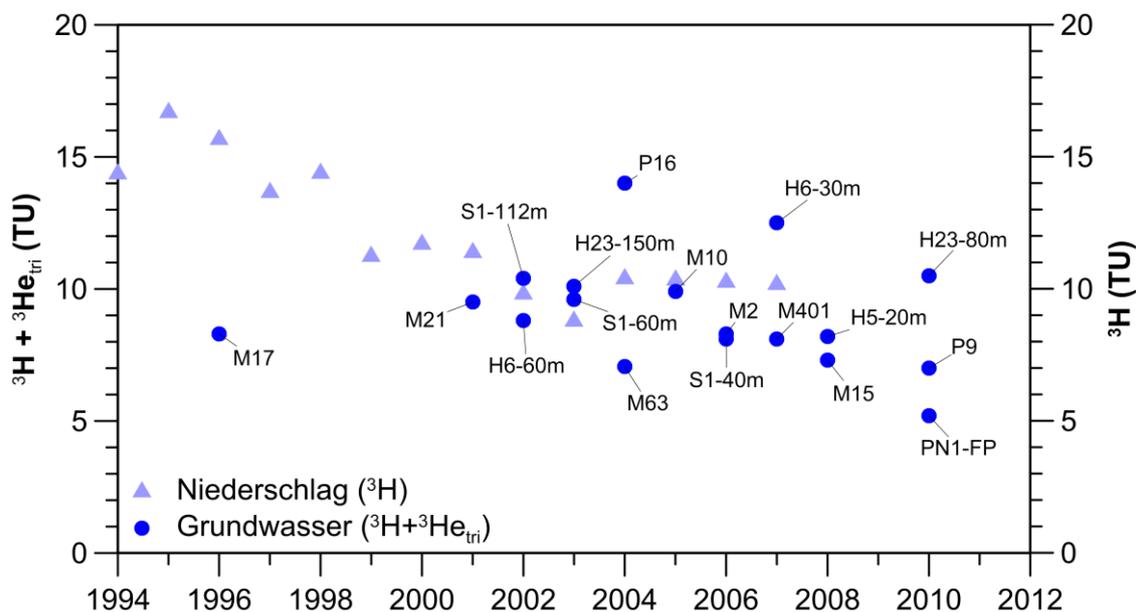


Abb. 9.2: Summe der jeweiligen ^3H - und $^3\text{He}_{\text{tri}}$ -Gehalte der Wässer aus dem Asse-Deckgebirge aufgetragen gegen die ^3H - ^3He -Infiltrationsalter (Abszisse und linke Skala, dunkelblaue Vollkreise). Zusätzlich ist die Tritiumkonzentration der Niederschläge (mit der Niederschlagsmenge gewichtete Jahresmittelwerte) an der GNIP-Station in Braunschweig für die Jahre 1994 bis 2007 gezeigt (Abszisse und rechte Skala, hellblaue Voldreiecke).

Starke Gasüberschüsse, d.h. positive δNe -Werte zeigen die Proben aus GWM PN2-TP, H9, H14, H16 und Schacht Asse 3 Anhang Tab. F.4 und F.5). Hervorzuheben ist dabei der extrem hohe Wert (5000 %) für den Gasüberschuss der Wasserprobe aus der GWM PN2-TP. Die negativen δNe -Werte der Proben aus GWM H3, H6, H7, H23, P9, P16 sowie aus Schacht Asse 1 und Salzquelle M63 – mit einem minimalen δNe -Wert von -72 % für die Probe aus GWM H7 – zeigen einen



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 347 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Verlust an Gasen an. Die Interpretation der Edelgasisotopenverhältnisse ist somit für diejenigen Proben, die signifikante Gasverluste/-überschüsse aufweisen, nur unter Vorbehalt möglich.

Nach den Ergebnissen der Edelgasanalysen (He/Ne) weist der überwiegende Teil der Wasserproben des Asse-Deckgebirges eine sehr niedrige $^4\text{He}_{\text{rad}}$ -Konzentration (aus den Zerfallsreihen der U- und Th-Nuklide) von $<0,0001$ Nml/kg auf (Abb. 9.3). Nur ein kleiner Teil der Proben zeigt höhere Werte. Dazu gehören die Proben aus der GWM H9, Schacht Asse 3, Quelle M17 und aus den Salzquellen M63 und M305 mit $^4\text{He}_{\text{rad}}$ -Gehalten zwischen 0,00012 und 0,022 Nml/kg. Außergewöhnlich hohe, um bis zu zwei Größenordnungen über den übrigen Proben liegende Konzentrationen von $^4\text{He}_{\text{rad}}$, wurden für die Proben aus den tiefen R-Messstellen bestimmt (R5: 0,37 Nml/kg; R7: 0,15 Nml/kg; R8: 0,047 Nml/kg).

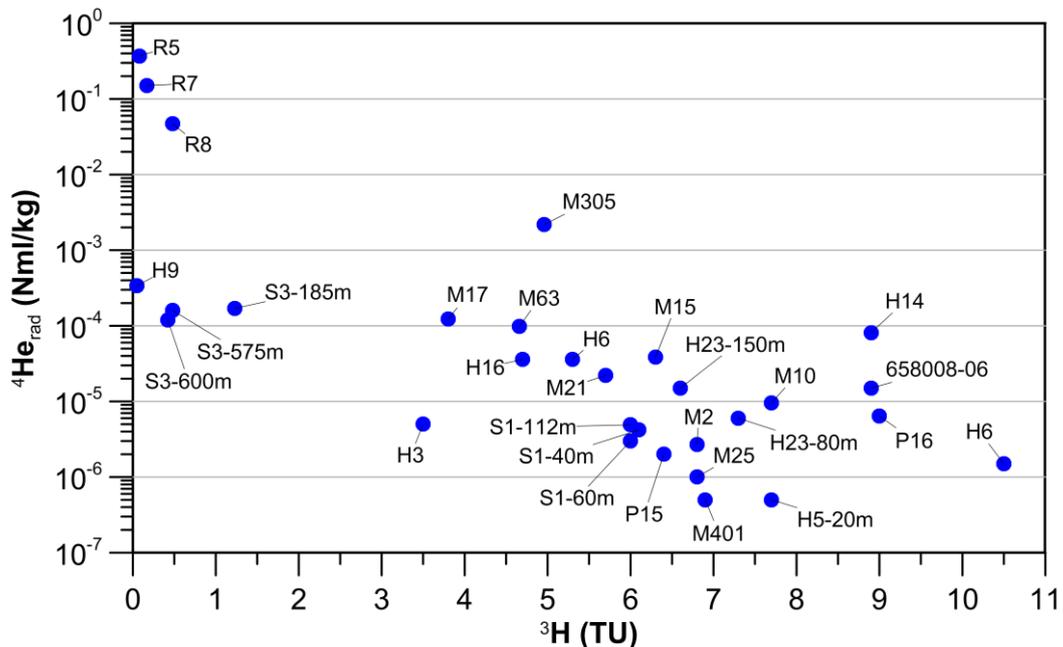


Abb. 9.3: Darstellung der ^3H - gegen die $^4\text{He}_{\text{rad}}$ -Konzentration in den Wasserproben aus den hydrogeologischen Messstellen des Asse-Höhenzuges inklusive einer Probe („658008-06“) aus dem Lösungszutritt in der Südflanke des Asse-Grubengebäudes (L658008, 658-m-Sohle).

Zur zeitlichen Einordnung der gemessenen Tritiumkonzentrationen der Grundwässer des Asse-Deckgebirges wurden ^3H -Werte (mit der Niederschlagsmenge gewichtete Jahresmittelwerte) des globalen Netzwerkes für Isotopen im Niederschlag (Global Network of Isotopes in Precipitation, „GNIP“) der Station Braunschweig (Nr. 1034800; $52^\circ 18' 0''/10^\circ 27' 0''$; 88 mNN) aus dem Zeitbereich 1978 bis 2005 verwendet [IAEA/WMO 2006]. Die Tritiumgehalte im Niederschlag der GNIP-Station Braunschweig – korrigiert um den Zerfall bis zum Probennahmejahr 2010 – liegen für die Zeit von 1978 bis heute (Bezugsjahr 2010) bei Werten >6 TU [Abb. 9.4]; Ausnahmen bestehen nur für die Jahre 1986 und 1992 die ca. 5,5 TU aufweisen. Unter der durch Messwerte anderer GNIP-Stationen in Deutschland gestützten Annahme, dass die ^3H -Gehalte im Niederschlag von 1953 bis 1977 nochmals deutlich höher waren (bis zu 1000 TU zu Beginn der 1960er-Jahre), sind für diesen



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 348 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Zeitraum ^3H -Werte im Niederschlag von mehr als 10 TU anzunehmen. Die ^3H -Niederschlagskonzentrationen vor dem Jahr 1953 werden in kontinentalen Regionen auf 2 TU bis 5 TU geschätzt, zerfallskorrigiert wären sie heute kleiner als 0,3 TU.

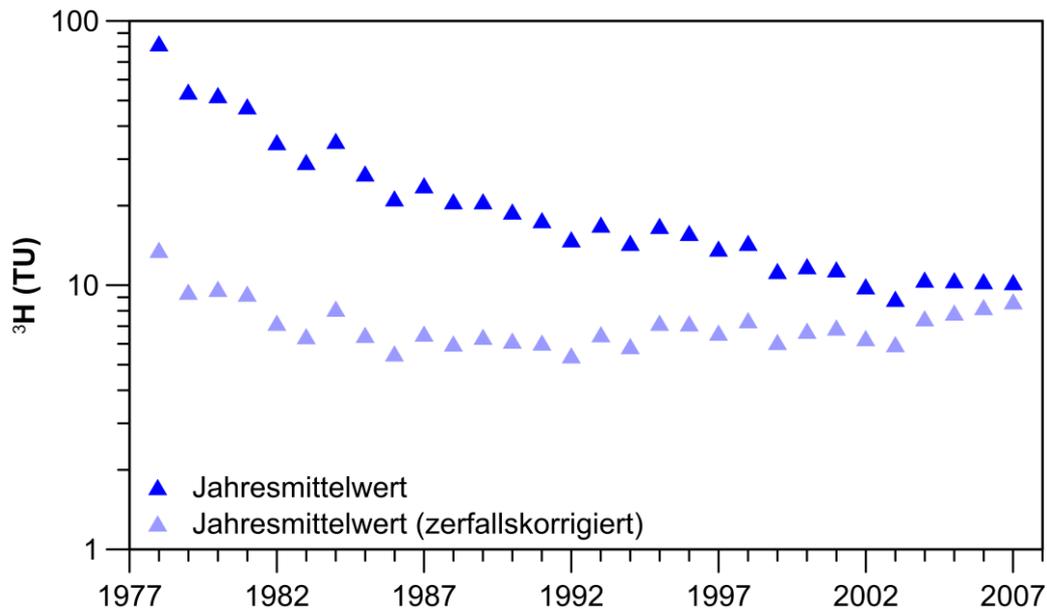


Abb. 9.4: Mit der Niederschlagsmenge gewichtete Jahresmittelwerte der Tritiumkonzentration der Niederschläge an der GNIP-Station in Braunschweig für die Jahre 1978 bis 2007 zusammen mit der jeweils für das Jahr 2010 nach Berücksichtigung des radioaktiven Zerfalls verbliebenen Tritiumkonzentration.

Die synoptische Betrachtung der Ergebnisse der Tritium- und Helium-Isotopenanalysen ermöglicht es, für den überwiegenden Teil der Asse-Grundwasseranalysen eine plausible Abschätzung der Infiltrationszeitpunkte zu geben. Weiterhin können bei den analysierten Proben, die Anteile von Grundwasser verschiedenen Alters enthalten, die jeweiligen Mischungsanteile abgeschätzt werden. Dementsprechend ergeben sich die im Folgenden dargestellten drei Kategorien für die Alter der analysierten Grundwässer des Asse-Deckgebirges.

Kategorie 1: Grundwässer mit einer geringen ^3H -Konzentration von weniger als 1,5 TU in den Proben aus GWM H9, H17, P13, P17, R5, R7, R8 und Schacht Asse 3 (alle 3 Proben). Bei diesen Proben ist i.d.R. kein $^3\text{He}_{\text{tri}}$ nachweisbar. ^3H -Konzentrationen in dieser Größenordnung zeigen an, dass diese Wässer zu einem überwiegenden Teil vor den 1950er-Jahren infiltriert sind und nur eine geringe Zumischung von jüngerem, ^3H -haltigem Wasser erfolgt ist (abgeschätzt <10%). Diese geringe Zumischung ^3H -haltigen Wassers kann – neben geogenen Ursachen – z.B. durch undichte Messstellenbauwerke begründet sein.

Über den Infiltrationszeitpunkt der jungen, nach 1950 infiltrierten Wasserkomponenten lassen sich, für diese Proben aufgrund der hohen Gasüberschüsse/-verluste und der z.T. hohen He-Konzentrationen, die keine belastbare Bestimmung des $^3\text{He}_{\text{tri}}$ erlauben, keine Angabe machen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 349 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Dagegen sind die hohen $^4\text{He}_{\text{rad}}$ -Konzentrationen der Grundwässer in den drei R-Bohrungen charakteristisch für sehr lange Verweilzeiten in der gesättigten Zone (10^3 bis 10^8 Jahre).

Für die Wasserproben aus GWM H7 sowie der Quelle M20 konnte analysentechnisch kein ^3H -Gehalt gemessen werden. Für diese beiden Proben lässt sich aber aus dem $^4\text{He}_{\text{rad}}$ -Gehalt und dem geringen $^3\text{He}_{\text{rad}}$ -Gehalt ein dominierender Anteil an ^3H -freiem Wasser von 95 % bis 100 % abschätzen.

Kategorie 2: Grundwässer mit ^3H -Gehalten im Bereich von $>1,5$ TU bis ca. 6 TU, die in den Proben aus den GWM H3, H5 (115 m), H6, H16, H24b (beide Tiefenlagen) und PN1 (nur TP) und PN2 (FP mit 4,4 TU und TP mit 1,5 TU) sowie für die Proben aus den Quellen M17, M21, M63 und M305 gemessen wurden. Die gemessenen ^3H -Gehalte weisen, unter Berücksichtigung der zerfallskorrigierten ^3H -Daten der GNIP-Station Braunschweig (Abb. 9.4) und der $^3\text{He}_{\text{trit}}$ -Konzentration (Abb. 9.1), auf die Mischung von ^3H -freien, vor den 1950er-Jahren infiltrierten Wässern mit jüngeren Grundwässern hin. Der Anteil an jungem, d.h. ^3H -haltigem Wasser liegt abgeschätzt zwischen ca. 10 % bis max. 70 %. Das Infiltrationsalter der jüngeren Komponente liegt, sofern bestimmbar, bei weniger als 10 Jahren; einzig die Quelle M17 besitzt ein höheres Infiltrationsalter von ca. 14 Jahren. Insgesamt weisen diese Proben, mit Ausnahme der Salzquelle M305, sehr geringe $^4\text{He}_{\text{rad}}$ -Konzentrationen auf.

Kategorie 3: Grundwässer mit ^3H -Gehalten zwischen ca. 6 TU und 11 TU, die in den Proben aus GWM H5 (20 m), H6 (30 m), H23 (beide Tiefenlagen), P9, P16, PN1-FP¹ sowie in den Proben aus Schacht Asse 1 und der Quellen- bzw. Vorfluter-Messstellen M2, M10, M15, M25 und M401 gemessen wurden. In Kombination mit den zerfallskorrigierten ^3H -Daten der GNIP-Station Braunschweig (Abb. 9.4) und der jeweiligen $^3\text{He}_{\text{trit}}$ -Konzentration (Abb. 9.1), sind die ^3H -Gehalte dieser Proben indikativ für junge Wässer die nach 1950 infiltriert sind. Eine geringe Zumischung von altem, vor den 1950er-Jahren infiltrierten, ^3H -freien Grundwässern ist möglich. Insgesamt weisen diese Proben sehr geringe $^4\text{He}_{\text{rad}}$ -Konzentrationen auf. Die Infiltrationsalter der bei diesen Proben anteilmäßig dominierenden jungen Wasserkomponente liegen bei weniger als 10 Jahren (zugrunde liegende Annahme: rein advektiver Transport im GW-Leiter). Hervorzuheben ist, dass für zwei dieser Wasserproben (GWM P16 bzw. GWM H6 bei 30 m), die Summe der gemessenen ^3H - und $^3\text{He}_{\text{trit}}$ -Konzentrationen signifikant über den für dieses Jahr mittels der Niederschlagsmenge gemittelten ^3H -Konzentrationen der Niederschläge an der GNIP-Station Braunschweig liegt (Abb. 9.4). Eine Erklärung für diese Werte liegt momentan nicht vor.

Die Probe („658008-06“) aus der gefassten Zutrittslösung in der Südflanke des Asse-Grubengebäudes (L658008, 658-m-Sohle) weist einen ^3H -Gehalt von 8,9 TU, einen $^3\text{He}_{\text{trit}}$ -Gehalt von weniger als <2 TU sowie einen sehr niedrigen δNe -Wert von -80 auf. Bedingt durch die in den Wettern im Asse-Grubengebäude gegenüber atmosphärischer Luft deutlich erhöhten ^3H -Konzentrationen, kommt es zu einer Anreicherung der Zutrittslösung an ^3H aus den Grubenwettern. Dadurch ist eine Bestimmung des ursprünglichen ^3H -Gehaltes bzw. eine ^3H - $^3\text{He}_{\text{trit}}$ -Datierung nicht mehr möglich.

¹ Die Probe aus dem Flachpegel der GWM PN1 (5,2 TU) weist einen geringeren ^3H -Gehalt aufweist als die Probe aus dem Tiefpegel (7,5 TU). Für dieses Messergebnis existiert momentan keine plausible Erklärung.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 350 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Abschließend ist anzumerken, dass die in mehreren Proben gemessenen positiven δNe -Werte bis ca. 50 % in einer Größenordnung sind, die für Infiltrationsgebiete mit starken Schwankungen des Grundwasserspiegels typisch sind. Die darüber hinaus gehenden, z.T. ungewöhnlich hohen δNe -Werte der Wasserproben aus den GWM H9 (74 %), H14 (270 %), H16 (188 %), PN2-TP (5000 %) und S3 (alle drei beprobten Tiefen: 414 bis 905 %), können möglicherweise zudem auf eine Gasaufnahme aus der Atmosphäre während der Probennahme hindeuten die bei der nachfolgenden Interpretation der ^{14}C -Analysen zu beachten sind.

9.3 KOHLENSTOFFISOTOPE

Die Ergebnisse der ^{14}C - und ^{13}C -Isotopenanalysen der Grundwasserproben des Asse-Deckgebirges sind graphisch in Abb. 9.5 sowie tabellarisch in Tab. F.6 (GWM) und Tab. F.7 (M-Messstellen) dargestellt. Die Ergebnisse der $^{13}\text{C}_{\text{AMS}}$ -Messungen werden aufgrund des Messprinzips (u.a. Auftreten von Fraktionierungseffekten) nicht berücksichtigt.

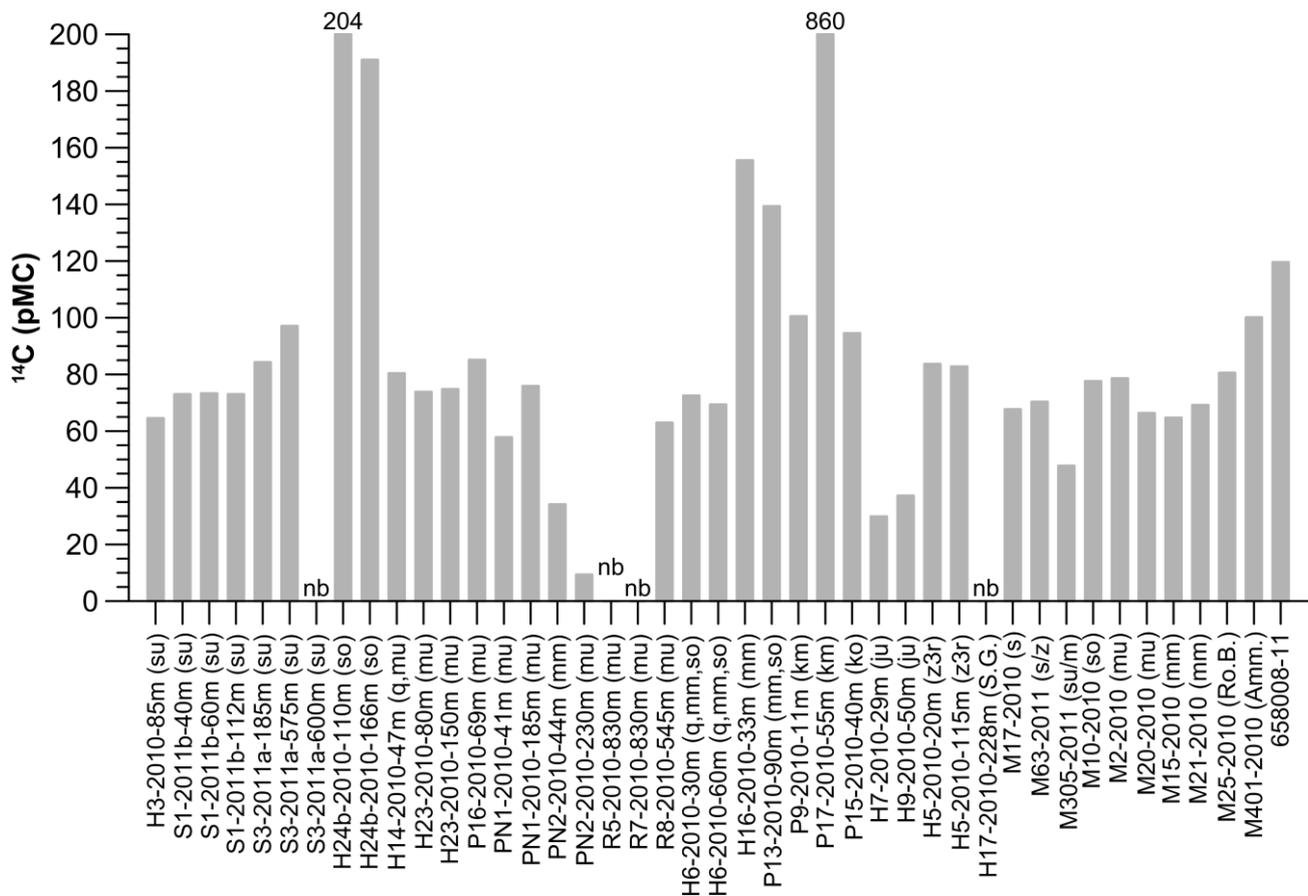


Abb. 9.5: ^{14}C -Aktivität des gelösten Kohlenstoffs der Grundwässer des Asse-Deckgebirges inklusive einer Probe („658008-11“) aus dem Lösungszutritt (L658008; 658-m-Sohle; Südflanke) des Asse-Grubengebäudes. Abkürzungen: „nb“ = nicht bestimmt, „Ro.B.“ = Rothebach, „Amm.“ = Ammerbeek.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 351 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die ^{14}C -Analysen zeigen, dass der überwiegende Teil der Wasserproben der Asse ^{14}C -Aktivitäten zwischen 50 pMC und 100 pMC aufweist. ^{14}C -Aktivitäten kleiner als 50 pMC wurden nur für die Proben aus den GWM PN2-FP (*mu*; 34,2 pMC), PN2-TP (*mu*; 9,4 pMC), H7 (*ju*; 29,9 pMC), H9 (*ju*; 37,2 pMC) sowie M305 (*su/z*; 47,8 pMC) gemessen. Die niedrigste ^{14}C -Aktivität aller gemessenen Wasserproben liegt bei 9,4 pMC für die Probe aus der GWM PN2 (*mu*; Tiefpegel).

Eine ^{14}C -Aktivität von mehr als 100 pMC weisen die Proben aus den GWM H16 (*mm*; 155,5 pMC), H24b (*so*; 191 pMC bzw. 204 pMC für die Proben aus 166 m bzw. 110 m Tiefe) und P13 (*mu*; 139,4 pMC) auf. Für die Probe aus GWM P17 (*km*) ergibt sich ein extrem hoher Wert von 860 pMC. Für die Proben aus der GWM H17 sowie aus den tiefen R-Messstellen GWM R5 und R7 konnte aufgrund des geringen DIC-Gehaltes (<1 mg/l) keine ^{14}C -Aktivität bestimmt werden.

Die Probe aus dem Lösungszutritt in das Grubengebäude der Schachanlage Asse II (Probennahmestelle L658008, 658-m-Sohle, Südflanke) zeigt eine ^{14}C -Aktivität von 119,59 pMC.

Auf Basis der ^{14}C -Aktivitäten lassen sich für die Proben, die Werte zwischen 60 pMC und 100 pMC aufweisen und den Großteil der untersuchten Proben ausmachen, konventionelle ^{14}C -Alter zwischen 235 ± 30 und 4400 ± 30 Jahren berechnen (Anhang Tab. F.6 und F.7). Höhere konventionelle ^{14}C -Alter ergeben sich nur für die Proben aus der GWM H7 (*ju*; 9700 ± 45 Jahre), H9 (*ju*; 7940 ± 40 Jahre), PN2-FP (*mu*; 8630 ± 35 Jahre), PN2-TP (*mu*; $19\,020 \pm 100/90$ Jahre) und für die Probe aus der Salzquelle M305 (*su/z*; 5935 ± 30 Jahre). Hierbei ist hervorzuheben, dass die konventionellen ^{14}C -Alter mittels Glg. (9.2) aus der gemessenen ^{14}C -Aktivität berechnet wurden und keine Korrekturen für die Veränderungen des ^{14}C während bzw. nach der Infiltration (z.B. Austausch mit Karbonatgesteinen) beinhalten. Aussagekräftigere, so genannte ^{14}C -Modellalter die diese Prozesse berücksichtigen, werden nachfolgend diskutiert.

Für die Proben mit einer ^{14}C -Aktivität über 100 pMC, kann angenommen werden, dass eine deutliche Beeinflussung durch ^{14}C aus den umfangreichen Kernwaffentests während der 1950er- bis 1970er-Jahre vorliegt („Bomben- ^{14}C “). Diese Proben werden pauschal mit einem konventionellen Alter von „>1954 A.D.“ eingestuft.

Entsprechend den Ergebnissen der $^{13}\text{C}_{\text{IRMS}}$ -Analysen (Abb. 9.6) weisen die meisten Proben des Asse-Deckgebirges einen $\delta^{13}\text{C}$ -Wert zwischen ca. -9 ‰ und ca. -15 ‰ V-PDB auf. Auffällig ist dabei ein Cluster der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte einmal um ca. -13 ‰ und einmal um ca. -10 ‰ V-PDB. $\delta^{13}\text{C}$ -Werte um ca. -13 ‰ sind typisch für den Einfluss von C3-Typ-Pflanzen (z.B. Bäume, Gräser, Weizen, Roggen, Hafer) auf das Boden- CO_2 während die Werte um ca. -10 ‰ möglicherweise auf einen geringen Einfluss von C4-Typ-Pflanzen (z.B. Mais) hindeuten. Den insgesamt niedrigsten $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von -22,97 ‰ V-PDB zeigt die Probe aus GWM H16 (*mm*). Den höchsten $\delta^{13}\text{C}$ -Wert der Wasserproben aus den GWM und M-Messstellen von -2,8 ‰ V-PDB zeigt die Probe aus der GWM PN2-TP (*mu*). Hervorzuheben ist, dass die Probe 658008-11 aus dem gefassten Lösungszutritt auf der 658-m-Sohle im Grubengebäude der Schachanlage Asse II einen nochmals höheren Wert von -1,8 ‰ V-PDB aufweist.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 352 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

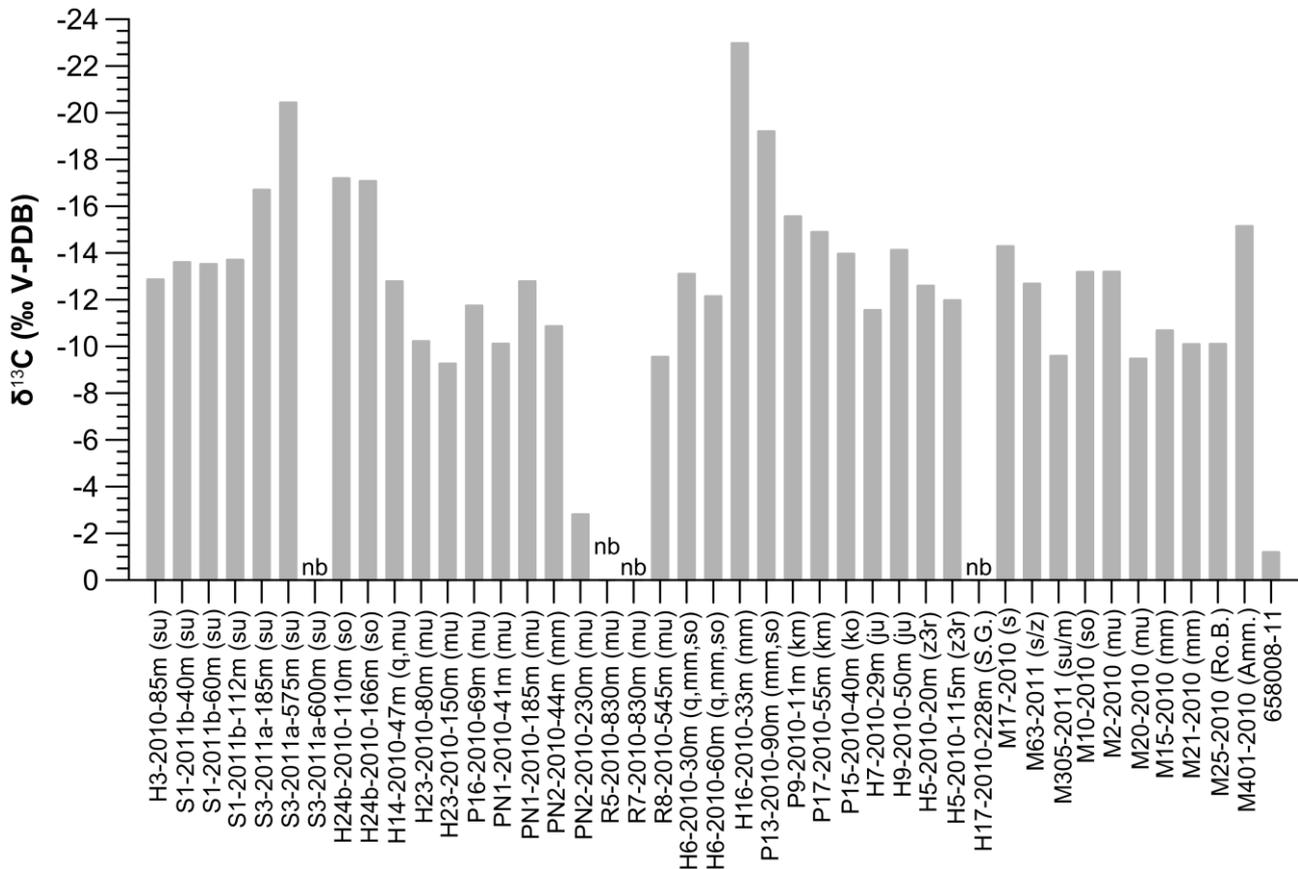


Abb. 9.6: $\delta^{13}\text{C}$ des gelösten Kohlenstoffs der Grundwässer des Asse-Deckgebirges inklusive einer Probe („658008-11“) aus dem Lösungszutritt des-Grubengebäudes (L658008, 658-m-Sohle, Südflanke). Abkürzungen: „nb“ = nicht bestimmt, „Ro.B.“ = Rothebach, „Amm.“ = Ammerbeek.

¹⁴C-Modellalter – Evaluierung hydrochemischer Prozesse

Die Bestimmung der – gegenüber den o.g. konventionellen ¹⁴C-Altern wesentlich aussagekräftigeren – ¹⁴C-Modellaltern erfordert zum einen eine Abschätzung des Wertes der ursprünglichen ¹⁴C-Aktivität des Wassers zum Zeitpunkt der Infiltration (A_0 -Wert). Zum anderen bedarf es einer Abschätzung der relevanten hydro- und isotopechemischen Prozesse, die diese ursprüngliche ¹⁴C-Aktivität während der Infiltration und entlang des Fließpfades verändern.

Die Identifikation der relevanten hydrochemischen Prozesse erfolgt probenspezifisch auf Basis der jeweils gemessenen ¹⁴C-Aktivitäten, $\delta^{13}\text{C}$ -Werte und DIC-Gehalte sowie unter Berücksichtigung der ¹⁴C- und ¹³C-Gehalte der möglichen Kohlenstoffquellen, wie z.B. Boden-CO₂, CO₂ aus Oberflächengewässern bzw. der Luft, und CO₂ aus der Lösung von Karbonaten (vgl. [Han et al. 2012] und [IAEA 2013]). Hierbei ist nach [Mook 2001] und [Han et al. 2012] insbesondere das Verhältnis der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zu den ¹⁴C-Aktivitäten („¹⁴C- $\delta^{13}\text{C}$ -Diagramm“; Abb. 9.7) sowie das Verhältnis der ¹⁴C-Aktivitäten und der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zu den DIC-Gehalten („ $\delta^{13}\text{C}$ -DIC-Diagramm“ in Abb. 9.8) im Hinblick auf hydrochemische Prozesse aussagekräftig.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 353 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Vorausschickend ist anzumerken, dass bei dieser Auswertung Proben mit ^{14}C -Aktivitäten grösser als 100 pMC von der Evaluierung ausgeschlossen werden. Für diese Proben ist eine deutliche und i.d.R. nicht weiter quantifizierbare Beeinflussung durch ^{14}C aus Kernwaffentests anzunehmen. Auf mögliche Schlussfolgerungen aus der Kohlenstoffisotopie dieser Proben wird im Anschluss an die nachfolgende Auswertung der relevanten hydro- und isotopenchemischen Prozesse eingegangen.

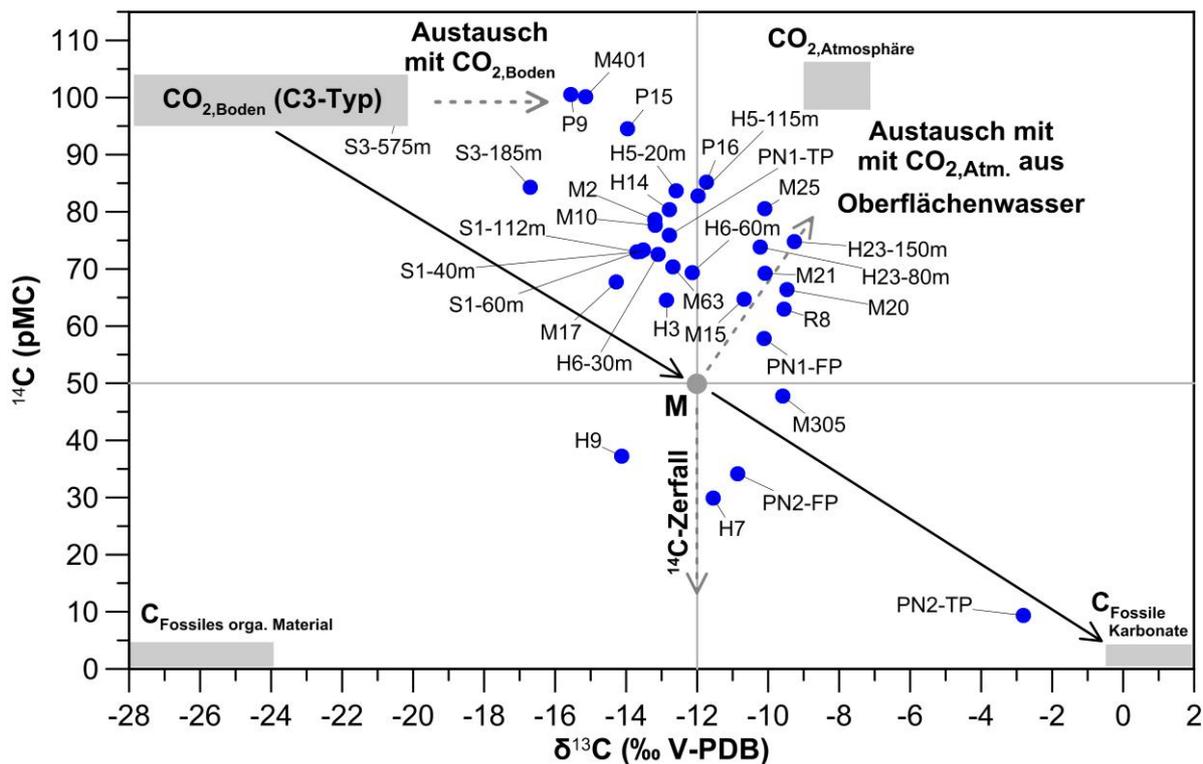


Abb. 9.7: Kohlenstoffisotopie (^{14}C -Aktivität, $\delta^{13}\text{C}$ -Wert) des gelösten Kohlenstoffs der Grundwässer des Asse-Deckgebirges zusammen mit den Wertebereichen möglicher Kohlenstoffquellen (graue Vierecke) und der Darstellung relevanter Prozesse als Pfeile, die schematisch die Richtung der Isotopenveränderung angeben [Mook 2001].

Im ^{14}C - $\delta^{13}\text{C}$ -Diagramm (Abb. 9.7) weisen Grundwässer, die in einem offenen System nur $\text{CO}_{2(\text{aq})}$ im Gleichgewicht mit Boden- CO_2 enthalten, in erster Näherung eine ^{14}C -Aktivität von ca. 100 pMC sowie einen $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von -28 bis -20 ‰ V-PDB (Beeinflussung durch Landpflanzen vom C3-Typ) bzw. -20 bis -15 ‰ V-PDB (Landpflanzen vom C4-Typ) auf. Für das Gebiet des überwiegend bewaldeten Asse-Höhenzuges kann von einer Dominanz der C3-Typ-Pflanzen ausgegangen werden. Einflüsse von C4-Typ-Pflanzen sind im Gebiet der Asse nur lokal (z.B. Maisanbau nordöstlich von Schacht Asse 2 in der Nähe GWM H3) sowie – bedingt durch saisonalen Anbau – nur zeitlich begrenzt möglich. Somit lässt sich ein plausibler $\delta^{13}\text{C}$ Wert für das Boden- CO_2 im Gebiet des Asse-Höhenzuges von ca. -24 ‰ V-PDB annehmen.

Grundwässer, die in einem geschlossenen System nur CO_2 aus der Lösung fossiler Karbonatgesteine aufweisen, besitzen i.d.R. sehr geringe ^{14}C -Aktivitäten (<5 pMC) und $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen ca. -0,5 bis +2 ‰ V-PDB.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 354 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Für Grundwasser zeigt sich die binäre Mischung (ohne ^{14}C -Zerfall) der beiden C-Komponenten Boden- CO_2 bzw. fossile Karbonatgesteins in einem geschlossenen System entlang einer Verbindungslinie zwischen den beiden Endgliedern (schwarze durchgezogene Linien mit Pfeilen in Abb. 9.7). Grundwässer die in einem geschlossenen System im Gleichgewicht mit Boden- CO_2 und CO_2 aus der Lösung von Karbonatgestein sind, liegen etwa im Mittelpunkt zwischen diesen beiden Endgliedern (d.h. nahe dem Punkt M). In Abhängigkeit von der Kohlenstoffisotopie des Boden- CO_2 und des Karbonatgesteins, liegt dieser Mittelpunkt etwa bei einer ^{14}C -Aktivität von 50 pMC und einem $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von 12 ‰ V-PDB.

Der radioaktive Zerfall von ^{14}C in einer Wasserprobe zeigt sich im ^{14}C - $\delta^{13}\text{C}$ -Diagramm durch Abweichungen der Proben von den genannten Verbindungslinien zwischen den Endgliedern hin zu geringeren ^{14}C -Aktivitäten. Der Austausch mit CO_2 aus der Bodenluft bzw. der Atmosphäre (in einem offenen System) ist dagegen durch eine Abweichung zu höheren $\delta^{13}\text{C}$ -Werten sowie z.T. auch zu höheren ^{14}C -Aktivitäten gekennzeichnet¹. Die Auswirkungen der beiden genannten Prozesse auf die Isotopenzusammensetzung des Grundwassers sind jeweils schematisch als graue Pfeile in Abb. 9.7 dargestellt.

Der überwiegende Teil der Grundwässer des Asse-Deckgebirges liegt im ^{14}C - $\delta^{13}\text{C}$ -Diagramm (Abb. 9.7) deutlich oberhalb des für geschlossene Systeme charakteristischen Evolutionspfades. Diese Position lässt für diese Wässer unter Annahme, dass kein „Bomben- ^{14}C “ im infiltrierenden Wasser enthalten ist folgende Interpretationsmöglichkeiten zu:

- Austausch des im Grundwasser gelösten anorganischen Kohlenstoffs mit Kohlenstoff aus Boden- CO_2 bzw. aus atmosphärischem CO_2 in einem offenen System, gefolgt von einem Übergang des Wassers in ein geschlossenes System und Lösung von fossilen Karbonaten.
- Evolution in einem geschlossenen System gefolgt von einem Übergang in ein offenes System und Austausch mit dem CO_2 der Atmosphäre (beispielsweise in einer Grundwassermessstelle oder einer Quellbehaltung).

Hervorzuheben ist, dass der beobachtete ^{14}C - $\delta^{13}\text{C}$ -Wertebereich der Asse-Grundwässer sich auch durch die hydrochemische Entwicklung von Grundwässern, die eine initiale ^{14}C -Aktivität von >100 pMC aufweisen, und somit „Bomben- ^{14}C “ enthalten, in einem geschlossenen System erklären lässt.

Die Proben des Asse-Deckgebirges, die im ^{14}C - $\delta^{13}\text{C}$ -Diagramm unterhalb des Evolutionspfades für geschlossene Systeme liegen, d.h. die Proben aus den GWM H7, H9, PN2 (Flach- und Tiefpegel), weisen – ausgehend von einer hydrochemischen Entwicklung in einem geschlossenen System und ohne Zumischung von Bomben- ^{14}C – möglicherweise einen ^{14}C -Zerfall auf. Bei der Probe aus GWM H9 ist zudem ein Einfluss von „altem“, d.h. ^{14}C -freien Kohlenstoff wahrscheinlich (z.B. aus der Zersetzung von fossilem organischem Material in den Schichten des Unteren Jura).

¹ Bei der Lösung von CO_2 aus der Atmosphäre ($\delta^{13}\text{C}$ ca. -8 ‰ V-PDB) in Oberflächengewässern findet bei einem pH-Wert von ca. eine Fraktionierung von rund +9 ‰ statt [Bade et al. 2004].



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 355 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

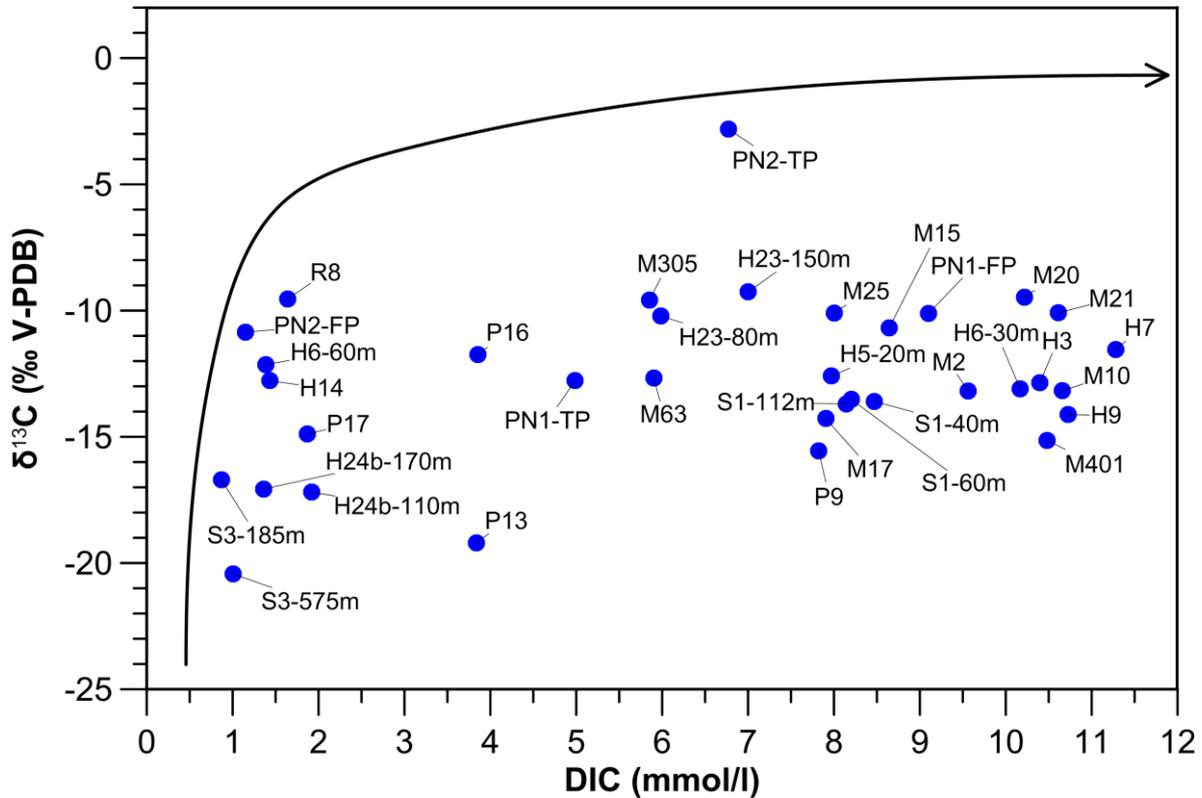


Abb. 9.8: $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des gelösten Kohlenstoffs aufgetragen gegen den DIC-Gehalt ($\text{CO}_2 + \text{HCO}_3$) der Wasserproben des Asse-Deckgebirges.

Im $\delta^{13}\text{C}$ -DIC-Diagramm (Abb. 9.8) verläuft der normale Evolutionspfad eines Grundwassers in einem geschlossenen System schematisch entlang der mittels der gekrümmten schwarzen Linie ausgehend von geringen DIC-Gehalten und niedrigen $\delta^{13}\text{C}$ -Werten hin zu höheren DIC-Gehalten und $\delta^{13}\text{C}$ -Werten. Der überwiegende Teil der Grundwasserproben des Asse-Deckgebirges zeigt einen DIC-Gehalt der in einem sehr eng begrenzten Bereich um ca. 550 mg/l liegt, während der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert (Abb. 9.8) sowie auch die ^{14}C -Aktivität (nicht gezeigt) in einem weiten Bereich variieren. Für diesen Teil der Proben ist die Lage der $\delta^{13}\text{C}$ -DIC-Daten charakteristisch für eine hydrochemische Evolution in einem – zumindest zeitweise – offenen hydrogeologischen System, bei dem ein Austausch zwischen dem DIC im Grundwasser und Kohlenstoffquellen mit geringem ^{13}C - und hohem ^{14}C -Gehalt, wie z.B. CO_2 aus der Bodenluft, stattfinden kann.

Insgesamt deutet die ^{14}C - und ^{13}C -Isotopenzusammensetzung für den überwiegenden Teil der Wasserproben des Asse-Deckgebirges auf einen Isotopenaustausch zwischen Wasser, Boden- CO_2 und atmosphärischem CO_2 hin. Dieser Austausch fand – mindestens zeitweise – in einem offenen System statt. Weiterhin lässt sich, angesichts der in einigen Proben gemessenen sehr hohen ^{14}C -Aktivitäten von mehr als 100 pMC, auch die Möglichkeit einer initial hohen und nicht quantifizierbaren ^{14}C -Aktivität gefolgt von einer Entwicklung in einem geschlossenen System nicht ausschließen. Eindeutige Hinweise auf ^{14}C -Zerfall, zuzüglich zu den genannten hydrochemischen Prozessen, sind aufgrund der Position im ^{14}C - $\delta^{13}\text{C}$ -Diagramm, nur bei vier Proben aus den GWM H7, H9, PN1-FP und PN1-TP zu finden.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 356 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Diese Interpretation wird gestützt durch die im vorangegangenen Kapitel dargestellten, zumeist hohen ^3H -Gehalte ($>3,5$ TU) der beprobten Grundwässer der Asse, die einen dominierenden Anteil an nach 1950 infiltrierten Grundwasser anzeigen (Abb. 9.9).

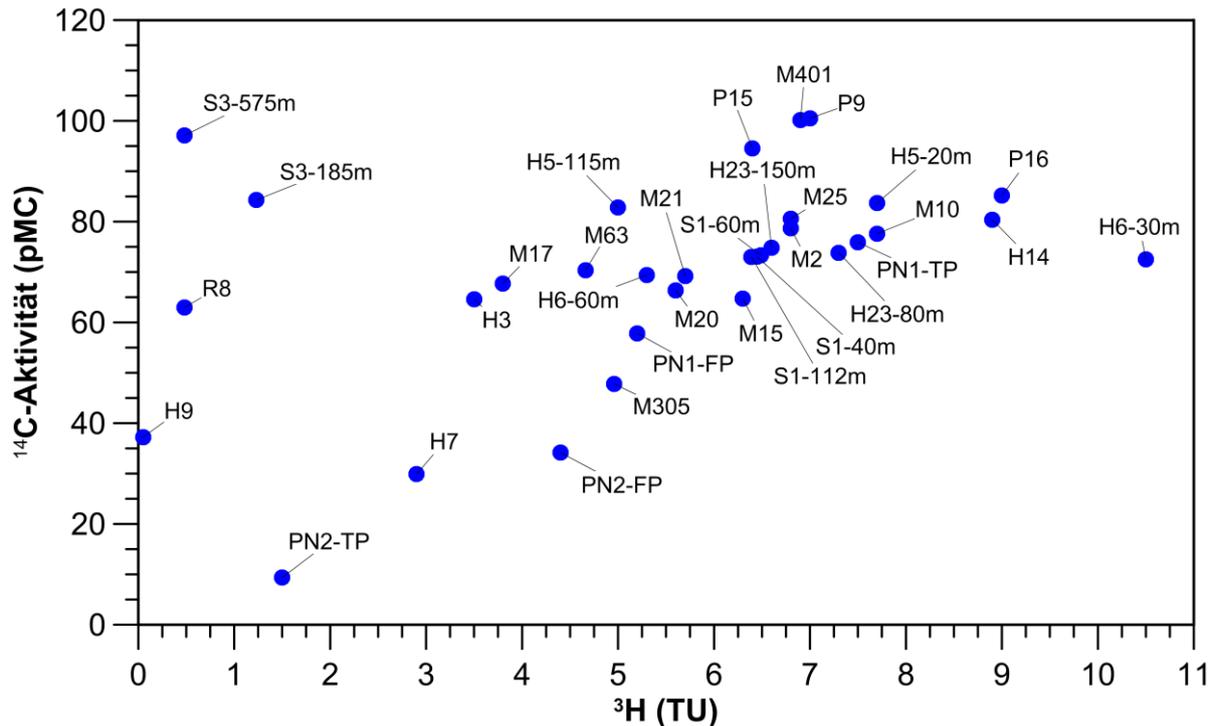


Abb. 9.9: ^3H -Gehalt der Wasserproben des Asse-Deckgebirges aufgetragen gegen die ^{14}C -Aktivität der jeweiligen Proben.

Die Isotopendaten der Proben mit einer ^{14}C -Aktivität von mehr als 100 pMC, die von der Auswertung ausgeschlossen wurden, sind zusammen mit den geologischen und ausbautechnischen Daten der entsprechenden GWM in Tab. 9.1 dargestellt.

Tab. 9.1: Kompilation der technischen Ausbaudaten und der Isotopenmesswerte der Proben die ^{14}C -Aktivitäten von mehr als 120 pMC aufweisen.

GWM	Baujahr	Lithologie	GW-Flurabstand (ca., in m)	Probentiefe (m)	^{14}C (pMC)	$\delta^{13}\text{C}$ (% V-PDB)	^3H (TU)
H16	1972	mm	14	33	155,53	-22,97	4,7
H24b	1985	so	30	110	203,95	-17,19	3
H24b	1985	so	30	166	191,01	-17,07	2,2
P13	1985	mm/so	20	90	139,37	-19,2	0,9
P17	1986	km	12	55	859,54	-14,89	0,3

Die Tiefenlage der Probennahme und der jeweilige Flurabstand des Grundwassers zeigen für die betrachteten GWM kein einheitliches Bild. Gemeinsam ist allen GWM, dass sie ein bis zwei Dekaden nach der Durchführung der Kernwaffentests in den 1950er- und 1960er-Jahren errichtet wur-



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 357 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

den und jeweils gering durchlässige Schichtfolgen erschließen. Anhand der gezeigten Daten lassen sich in Hinblick auf die potentielle Ursache der hohen ^{14}C -Aktivitäten die folgenden Aussagen machen:

- Existierende ^{14}C -Messungen verschiedener Stationen in Deutschland ergeben für Niederschlagswässer aus dem Zeitraum der 1950er- und 1960er-Jahre maximale ^{14}C -Aktivitäten von ca. 200 pMC. Dementsprechend gibt es für die extrem hohen ^{14}C -Aktivität von ca. 860 pMC in GWM P17 momentan keine plausible Erklärung.
- Die sehr geringen ^3H -Gehalte (<1 TU) der Proben aus der GWM P13 und P17 zeigen eine Infiltration des überwiegenden Wasseranteils (d.h. >90 %) im Zeitraum vor 1950 an. Dieser Infiltrationszeitraum ist mit den hohen ^{14}C -Aktivitäten dieser Proben nicht kompatibel.
- Die hohe ^{14}C -Aktivität in der Wasserprobe aus der GWM H16 ist ebenfalls nicht mit dem gemessenen ^3H -Gehalt von 4,7 TU vereinbar. Dieser ^3H -Gehalt zeigt ein Infiltrationsalter der in dieser Probe dominierenden jungen Wasserkomponente von ca. 10 Jahren an.

Eine eindeutige Zuordnung der extrem hohen ^{14}C -Aktivitäten in den vier betrachteten GWM zu einem Eintrag von Bomben- ^{14}C ergibt sich aus den Isotopendaten nicht. Dementsprechend wurde eine nochmalige Beprobung und Analyse des Grundwassers in diesen GWM mit dem Ziel veranlasst, die in 2011 und 2012 gemessenen ^{14}C -Aktivitäten zu verifizieren oder ggfs. zu korrigieren. Für den Fall, dass die o.g. ^{14}C -Werte dabei verifiziert werden, sollte dann der Einfluss weiterer potentieller ^{14}C -Quellen, wie z.B. Grubenwetter, Verwendung von salinärer Bohrspülung aus dem Grubengebäude, etc., detailliert untersucht werden.

Die Probe aus dem in der Südflanke des Asse-Grubengebäudes an der Probennahmestelle L658008 (658m-Sohle) aufgefangenen Lösungszutritts zeigt ebenfalls eine sehr hohe ^{14}C -Aktivität (ca. 119 pMC), die theoretisch ebenfalls als Indiz für die Zumischung von „Bomben- ^{14}C “ interpretiert werden könnte. Angesichts der in den Grubenwettern erhöhten ^{14}C -Aktivität ist hier – analog zur Interpretation der ^3H -Analysen der gefassten Zutrittslösung – von einer Beeinflussung auszugehen, die diese hohe ^{14}C -Aktivität hervorruft. In diesem Zusammenhang ist jedoch unklar, durch welche Prozesse die – im Vergleich zu allen anderen beprobten Wässern des Asse-Deckgebirges – sehr hohen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte dieser Probe von -1,2 ‰ V-PDB hervorgerufen werden können. Prinzipiell sind $\delta^{13}\text{C}$ -Werte in dieser Größenordnung erklärbar durch eine Herkunft des Kohlenstoffs im DIC aus der Lösung fossiler Karbonatgesteine innerhalb eines geschlossenen Systems (extreme Verdünnung des Boden- CO_2).

^{14}C -Modellalter – Berechnung mit dem Programm NETPATH

Auf Basis der identifizierten hydrochemischen und isotopenchemischen Prozesse während und nach der Infiltration der Asse-Grundwässer, lassen sich für die Wasserproben, bei denen ^{14}C -Zerfall identifiziert werden konnte, die entsprechenden ^{14}C -Modellalter ermitteln. Diese Prozesse bewirken insgesamt eine Verringerung des ursprünglichen ^{14}C -Gehaltes (A_0) des DIC unabhängig vom statt gefundenen ^{14}C -Zerfall, d.h. es ergibt sich ein errechneter Wert $A_{0,\text{calc}}$. Legt man diesen A_{nd} -Wert für die Berechnung des ^{14}C -Alters zugrunde, resultieren daraus jüngere ^{14}C -Modellalter als die konventionellen Alter nach folgender Gleichung (9.7):



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 358 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

$$\tau = \frac{5730}{\ln 2} \cdot \ln \left(\frac{A_{0,\text{calc}}}{A_0} \right) \quad (9.7)$$

mit τ ^{14}C -Modellalter (a)

Die Berechnung des $A_{0,\text{calc}}$ -Wertes kann mittels verschiedener traditioneller Modelle, sogenannter „adjustment models“ erfolgen, die jeweils mit unterschiedlicher Komplexität chemische Reaktionen und Isotopenfraktionierung des Karbonats im Wasser sowie den Einfluss organischer Spezies berücksichtigen können. Dabei können die wesentlichen hydrochemischen Prozesse, die in Bezug auf die Grundwässer im Asse-Deckgebirge relevant sind, wie z.B. CO_2 -Gas-Lösung, Karbonatlösung, Sulfatlösung, Ca/Na-Ionenaustausch und Isotopenaustausch zwischen Boden- CO_2 , Calcit, und DIC berücksichtigt werden. Die bei der Modellierung der ^{14}C -Modellalter mit der Software NETPATH ([Plummer et al. 1994]; [Han & Plummer 2013]) berücksichtigten traditionellen „adjustment models“ sind wie folgt charakterisiert:

- **Vogel** [Vogel 1970]: Pauschale Annahme einer ^{14}C -Aktivität von 85 ± 5 pMC für $A_{0,\text{calc}}$ auf Basis von mehreren hundert Messungen in NW-Europa und Berechnungen der Isotopen-Massenbilanz, die eine Isotopenverdünnung und -austausch mit dem Niederschlag einschließen.

Kommentar: Die pauschale Annahme eines konstanten A_{nd} -Wertes ist angesichts der hydrochemischen Prozesse im Asse-Deckgebirge nicht plausibel. Dementsprechend wird dieser Ansatz nicht weiter verfolgt.

- **Tamers** [Tamers 1975]: Berücksichtigt zur Berechnung des $A_{0,\text{calc}}$ -Wertes den einfachen Austausch von Grundwasser mit CO_2 in der ungesättigten Zone sowie Karbonatlösung (Calcit und Dolomit), auf Basis der Massenbilanzierung mit den jeweiligen Ionengehalten an Ca^{2+} , HCO_3^- und CO_2 .
- **Ingerson und Pearson** [Ingerson & Pearson 1964]: Berücksichtigt zur Berechnung des $A_{0,\text{calc}}$ -Wertes den einfachen Austausch von Grundwasser mit CO_2 in der ungesättigten Zone sowie Lösung von Calcit und Dolomit, aber im Unterschied zum Tamers-Modell erfolgt die Massenbilanzierung auf Basis der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte.
- **Mook** [Mook 1972]: Mit diesem Modell wird der A_{nd} -Wert schrittweise unter Berücksichtigung des Isotopenaustauschs in der ungesättigten Bodenzone ermittelt. Nach [IAEA 2013] ist dieses Modell geeignet für hydrogeologische Systeme, in denen Reaktionen mit Karbonatmineralen nicht dominant sind.

Kommentar: Somit ist in Anbetracht der hydrochemischen Prozesse (v.a. Karbonatlösung) im Asse-Deckgebirge dieser Ansatz ungeeignet und wird nicht weiter verfolgt.

- **Eichinger** [Eichinger 1983]: Dieses Modell erweitert das o.g. Ingerson und Pearson-Modell zur Berechnung des $A_{0,\text{calc}}$ -Wertes um den ^{13}C -Isotopenaustausch (Fraktionierung) des Grundwassers mit den Festphasen des GW-Leiters.
- **Fontes und Garnier** [Fontes & Garnier 1979]: Beruht auf dem o.g. Tamers-Modell mit Erweiterung um CO_2 Austausch im Grundwasser (gesättigte Zone), Calcit-Hydrogenkarbonat-Austausch, Ca/Na-Austausch und Lösung von Sulfaten zur Berechnung des $A_{0,\text{calc}}$ -Wertes.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 359 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- **Fontes und Garnier mit „solid exchange“** [Han & Plummer 2013]: Dieses Modell erweitert das o.g. Modell von Fontes und Garnier zur Berechnung des $A_{0,calc}$ -Wertes um die Isotopenfraktionierung bei Lösungs- bzw. Ausfällungsprozessen.

Die Berechnung des $A_{0,calc}$ -Wertes sowie der ^{14}C -Modellalter wurde in NETPATH jeweils für eine Wasserprobe durchgeführt, d.h. nicht für eine Serie von Wasserproben entlang eines Fließpfades¹. Unter den gegebenen Verhältnissen des Asse-Höhenzuges (einfache Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen) sind plausible Abschätzungen zu erwarten. Als Basis für die Modellierung wurden folgende Ausgangs- und Randbedingungen bzw. zu berücksichtigende Phasen angenommen:

- Boden- CO_2 : Eine ^{14}C -Aktivität von 100 pMC sowie ein $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von -25 ‰ V-PDB
- Fossiler Kalkstein: Eine ^{14}C -Aktivität von 0 pMC sowie ein $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von 0 ‰ V-PDB
- Moderner Kohlenstoff (DOC): Eine ^{14}C -Aktivität von 100 pMC
- Rayleigh-Fraktionierung mit den Fraktionierungsfaktoren nach [Mook 2001]
- Berücksichtigte Isotopensysteme: ^{14}C und ^{13}C sowie $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
- Berücksichtigte Phasen: Hydrogenkarbonat, Calcit, Dolomit, Anhydrit, Gips, Strontianit

Die für die Berechnung der $A_{0,calc}$ -Werte sowie ^{14}C -Modellalter mittels NETPATH verwendeten physikalisch-chemischen Parameter bzw. Ionenkonzentrationen der jeweiligen Grundwässer wurden im Rahmen der hydrochemischen Wasseranalysen ermittelt (siehe Kap. 8.2). Da für die Proben aus dem Jahr 2012 keine hydrochemischen Analysendaten zur Verfügung standen, wurde unter der Annahme, dass sich die Zusammensetzung der Grundwässer in den Messstellen jeweils innerhalb der Jahre 2010 bis 2012 nicht signifikant geändert hat, auf die Ergebnisse der Probennahmekampagne 2010/11 zurückgegriffen.

Die Ergebnisse der Modellierung mittels NETPATH für die vier berücksichtigten Wasserproben des Asse-Höhenzuges sind in Tab. 9.2 zusammengefasst.

Insgesamt liegen die modellierten Werte für $A_{0,calc}$ bis auf zwei Ausnahmen (Mook-Modell bei GWM H7 sowie Eichinger-Modell bei der GWM PN2-TP) über den gemessenen ^{14}C -Aktivitäten, und es ergeben sich positive ^{14}C -Modellalter. Plausible und im Rahmen der Genauigkeit der Radiokarbon-Methode relativ konsistente ^{14}C -Modellalter ergeben sich für die jeweiligen Wasserproben einer Messstelle mit den Modellen nach Ingerson & Pearson, Eichinger sowie Fontes und Garnier. Die nach Tamers modellierten Werte weichen davon z.T. deutlich ab:

- GWM H7: ^{14}C -Modellalter zwischen 3100 bis 3600 Jahre (Tamers ca. 4800 Jahre)
- GWM H9: ^{14}C -Modellalter zwischen 3100 bis 3800 Jahre (Tamers ca. 3800 Jahre)

¹ Die Berücksichtigung der ^{14}C -Aktivität im oberflächennahen Grundwasser und in mehreren Messstellen entlang eines Grundwasser-Fließpfades ermöglicht i.d.R. eine belastbarere Abschätzung der ^{14}C -Modellalter mittels NETPATH im Vergleich zur Verwendung von nur einer Wasserprobe.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 360 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- GWM PN2-FP: ¹⁴C-Modellalter zwischen 1500 bis 3100 Jahre (Tamers ca. 3300 Jahre)
- GWM PN2-TP: ¹⁴C-Modellalter zwischen 1300 bis 1500 Jahre (Tamers ca. 14 500 Jahre)

Hervorzuheben ist weiterhin, dass sich für die Probe der GWM PN2 aus dem Tiefpegel mit den meisten Modellen ein jüngeres Alter ergibt als für die Probe aus dem Flachpegel. Erklärungen für dieses wenig plausible Ergebnis könnten z.B. vertauschte Proben oder unterschiedliche Einflüsse von Bohrspülungsresten in der 2008/2009 errichteten Bohrung PN2 sein.

Tab. 9.2: Ergebnisse einer Modellierungsreihe der initialen ¹⁴C-Aktivitäten mittels NETPATH und resultierende ¹⁴C-Modellalter.

	H7-2010-29m		H9-2010-50m		PN2-2010-FP (44 m Tiefe)		PN2-2010-TP (230 m Tiefe)	
	A ₀ bzw. A _{0,calc}	Modell- alter						
	(pMC)	(a)	(pMC)	(a)	(pMC)	(a)	(pMC)	(a)
¹⁴ C-Aktivität der Probe (gemessen)	29,89	–	37,23	–	34,15	–	9,36	–
¹⁴ C-Aktivität der Probe (gemessen abzgl. ¹⁴ C des DOC)	28,27	–	35,66	–	28,42	–	8,98	–
Konventionelles Alter	100	10 444	100	8525	100	10 401	100	19 925
Tamers	50,34	4769	50	2796	42,34	3296	51,97	14 515
Ingerson & Pearson	43,7	3600	54,09	3445	36,15	1989	10,78	1513
Eichinger	41,2	3113	51,88	3101	34,42	1584	7,25	-1765
Fontes & Garnier	43,62	3584	56,64	3825	36,13	1985	10,69	1442
Revised F&G solid exchange	43,92	3641	53,99	3430	41,41	3112	10,54	1327

9.4 WASSERISOTOPE

Die Ergebnisse der Wasserisotopenanalysen der GWM und M-Messstellen sowie der an der Zutrittsstelle L658008 gefassten Zutrittslösung auf der 658-m-Sohle in der Südflanke der SchachanlageASSE II sind in Abb. 9.10 gezeigt. Die tabellarische Auflistung der Messwerte findet sich in Tab. F.8 (GWM), in Tab. F.9 (M-Messstellen) und in Tab. F.10 (gefasste Zutrittslösung) im Anhang.

Die Probenahme erfolgte bei den GWM und M-Messstellen im Jahr 2010 im Zeitraum Ende April bis Ende September, im Jahr 2011 Anfang Mai sowie im Jahr 2012 Anfang Juni, d.h. die Probenahmen fanden vorwiegend in den Sommermonaten statt. Die Zutrittslösung wurde in mehrmonatigen Abständen im Zeitraum 2003 bis 2008 beprobt.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 361 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

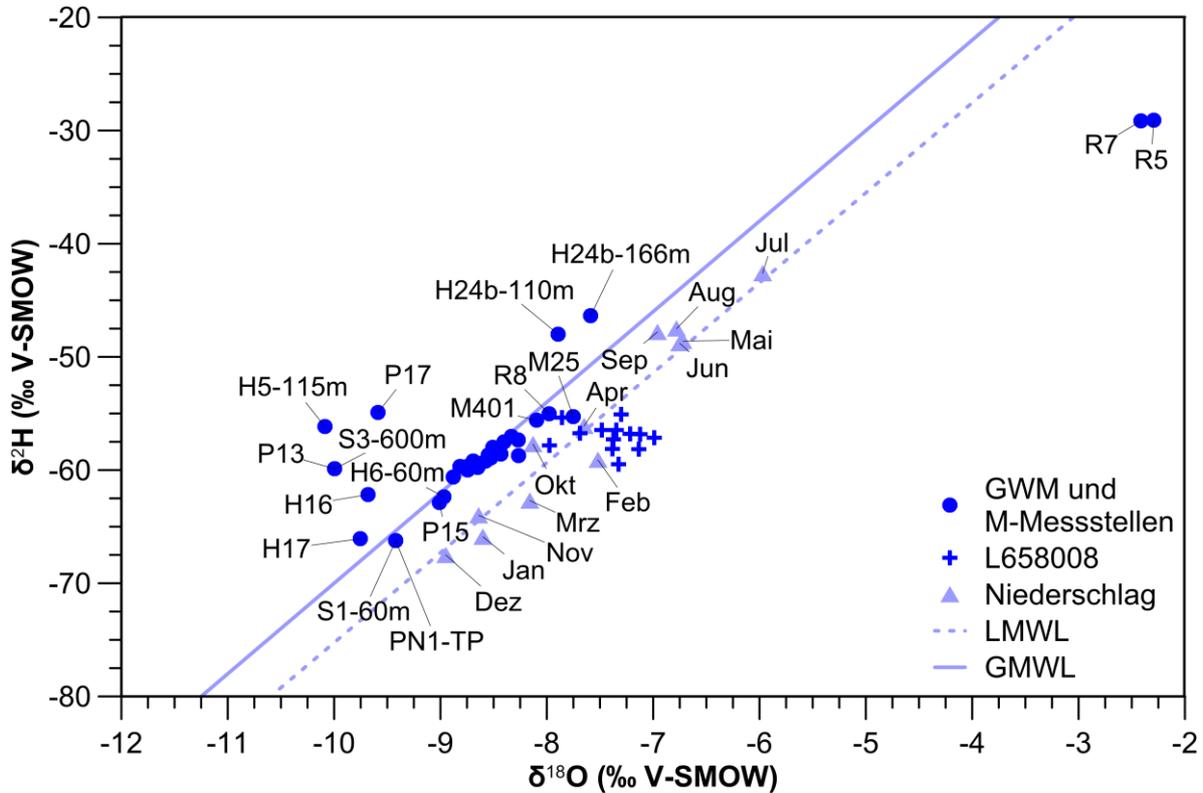


Abb. 9.10: $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ -Diagramm der GWM und M-Messstellen des Asse-Deckgebirges und der gefassten Zutrittslösung des Grubengebäudes (L658008; 658-m-Sohle, Südflanke). Dargestellt sind zudem die GWML bzw. LMWL (Erklärung im Text) und die Wasserisotope der Niederschläge (Monatsmittel 1978 bis 2005) der GNIP-Station Braunschweig.

Aufgrund der Position im $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ -Diagramm in Abb. 9.10 lassen sich die Wasserproben aus den GWM und M-Messstellen des Asse-Deckgebirges in die folgenden sechs Kategorien mit jeweils charakteristischen Wertebereichen unterteilen:

1. Ein Großteil der Wasserproben aus den GWM und M-Messstellen des Asse-Deckgebirges weist $\delta^2\text{H}$ -Werte im Bereich zwischen ca. -60 bis -55 ‰ V-SMOW und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Bereich von ca. -9 bis -8,2 ‰ V-SMOW auf. Damit liegen diese Proben auf bzw. sehr nahe an der globalen Niederschlagsgeraden („GMWL“), aber nicht auf der lokalen Niederschlagsgeraden („LMWL“) der GNIP-Station Braunschweig.
2. Die Proben der Messstellen der GWM R8, M401 und M25 liegen ebenfalls nahe an der GWML, sind jedoch gegenüber den Proben der ersten Kategorie an ^2H und ^{18}O angereichert.
3. Die Proben der Messstellen GWM H6 (60 m Tiefe), GWM P15, Schacht Asse 1 (60 m Tiefe) sowie GWM PN1 (Tiefpegel) liegen ebenfalls nahe an der GWML, sind jedoch gegenüber den Proben der ersten Kategorie an ^2H und ^{18}O abgereichert.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 362 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- Die Proben der GWM H5 (115 m Tiefe), H17, H16, P13, P17 und Schacht Asse 3 (600 m Tiefe) weisen $\delta^2\text{H}$ -Werte von ca. -67 bis -54 ‰ V-SMOW vergleichbar den Proben der 1. Kategorie auf, zeigen jedoch im Vergleich abgereicherte $\delta^{18}\text{O}$ -Werten von ca. -9,7 ‰ bis -10,2 ‰ V-SMOW und weichen deshalb von der GWML ab.
- Die Proben der GWM H24b zeigen mit $\delta^2\text{H}$ -Werten von -48 ‰ bzw. -46,3 ‰ V-SMOW und mit $\delta^{18}\text{O}$ -Werten von -7,9 ‰ bzw. -7,6 ‰ V-SMOW (Tiefe 110 m bzw. 166 m), eine Anreicherung der ^2H -Isotopen gegenüber der GWML bei gleichzeitig erhöhtem ^{18}O -Gehalt auf.
- Die Proben aus den GWM R5 und R7 sind im Vergleich zu den Proben vorgenannten Kategorien und zur GWML an ^2H und ^{18}O angereichert und sind weder mit der GWML noch mit der LMWL in Verbindung zu bringen.

Die $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der in den Jahren 2003 bis 2008 an der Stelle L658008 gefassten Zutrittslösung auf der 658-m-Sohle in der Südflanke der Schachanlage Asse II zeigen eine Streuung im Bereich von $\delta^2\text{H}$ -Werten zwischen ca. -60 ‰ bis -55 ‰ V-SMOW und $\delta^{18}\text{O}$ -Werten zwischen -8 ‰ bis -7 ‰ V-SMOW und weisen dementsprechend erhöhte Isotopenwerte auf, im Vergleich mit der GWML insbesondere an ^{18}O .

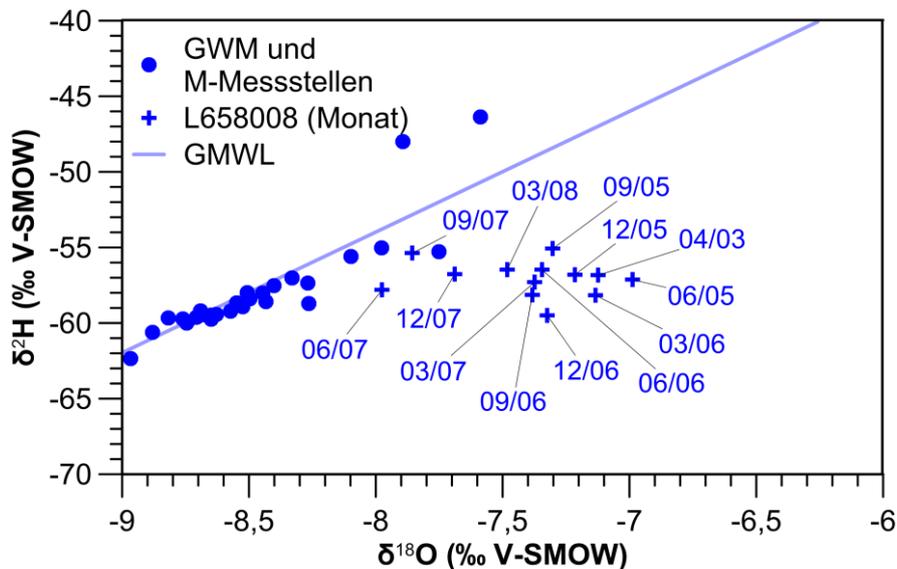


Abb. 9.11: Ausschnitt des $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Diagramm mit den Daten der an der an der Stelle L658008 gefassten Zutrittslösung. Die jeweiligen Proben sind mit Monat und Jahr der Probenahme gekennzeichnet, um mögliche saisonale und mehrjährige Trends aufzuzeigen.

Die höher aufgelöste Darstellung der Daten der an der Stelle L658008 aufgefangenen Zutrittslösung zusammen mit den jeweiligen Monaten der Probenahme in Abb. 9.11 zeigt visuell keine systematischen Trends auf, die auf jahreszeitliche Schwankungen hinweisen könnten. Bei dieser Schlussfolgerung ist aber die geringe Anzahl der Proben (12) zu beachten.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 363 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

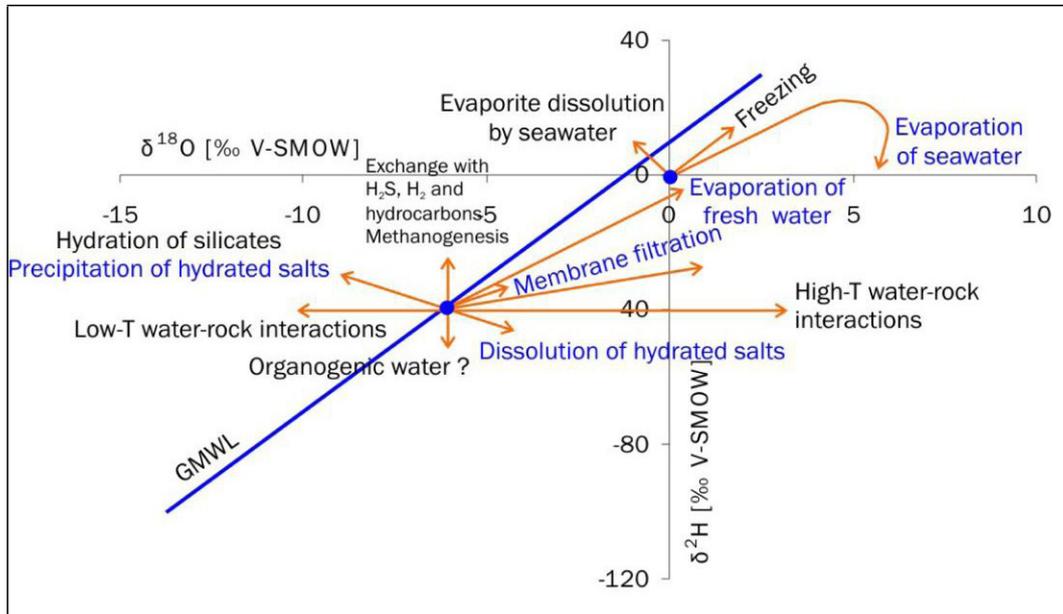


Abb. 9.12: Sekundäre Fraktionierungsprozesse im Grundwasser und die resultierende Positionen im $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Diagramm (aus [Klaus 2008]).

Aufgrund der Beobachtung, dass sich bestimmte Prozesse im Grundwasser, wie z.B. Evaporation und Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen, durch charakteristische Veränderungen der Isotopenverhältnisse relativ zur GWML zeigen (vgl. Abb. 9.12), wird nachfolgend eine erste Einschätzung der Genese der Grundwässer des Asse-Deckgebirges aufgrund des jeweiligen $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Wertebereichs der Proben gegeben.

Der $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Wertebereich der Proben in **Kategorie 1**, liegt auf einer Geraden die annähernd der der GWML entspricht und als charakteristisch für die Wasserisotopenwerte der meisten oberflächennahen Grundwässer am Standort Asse angesehen werden kann. Dieser Wertebereich ist charakteristisch für eine Abstammung der Grundwässer am Standort Asse von Niederschlägen die post-eiszeitlich infiltriert sind und dementsprechend jünger als ca. 8000 bis 10 000 Jahre sind [Clark & Fritz 1997].

Die Gründe für die Abweichung der Wasserisotope der Grundwässer dieser Kategorie von der lokalen Niederschlagsgerade („LMWL“) der GNIP-Messstation Braunschweig (Abb. 9.10) sind momentan unklar. Möglicherweise sind die (mikro-) klimatischen Verhältnisse an der GNIP-Station Braunschweig nicht charakteristisch für die entsprechenden Gegebenheiten am Standort Asse. Zur Klärung dieser Frage sollten u.E. Wasserisotopen der Niederschläge am Standort Asse untersucht werden. Momentan liegen dazu nach unserem Kenntnisstand keine Daten vor (in [GSF 1994] werden nur mehrjährige Ganglinien des Deuteriums im Niederschlag der Messstelle Asse gezeigt).

Legt man die Spannbreite der mit der Niederschlagsmenge gewichteten monatlichen Isotopengehalte der Niederschläge am Standort Braunschweig im Jahresverlauf ($\delta^2\text{H}$: -45 ‰ bis -67 ‰ V-SMOW bzw. $\delta^{18}\text{O}$: -9 ‰ bis -6 ‰ V-SMOW) als charakteristisch für den Niederschlag der Asse zugrunde, so deutet der Vergleich mit der Lage der Isotopenwerte der Proben der 1. Kategorie

 Bundesamt für Strahlenschutz				Sachstandsbericht Hydrogeologie			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 364 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

(Abb. 9.10) darauf hin, dass die hauptsächliche GW-Neubildung in den Monaten Oktober bis April erfolgt. Diese Hypothese stimmt mit den Beobachtungen der GW-Ganglinien in den meisten GWM überein, die in diesen Monaten ein Jahresmaximum aufweisen (vgl. Kap. 4.4). Diese Hypothese sollte u.E. aber anhand der oben vorgeschlagenen Isotopenmessungen an Niederschlagswässern des Asse-Höhenzuges verifiziert werden.

Die Position der Proben der **Kategorie 2**, d.h. derjenigen Proben, deren Isotopenverhältnisse im Vergleich zu den Proben der Kategorie 1 relativ zur GWML nach oben oder nach unten verschoben sind, kann möglicherweise durch dominierenden Zufluss von Wasser, das spezifisch zu bestimmten Jahreszeiten infiltriert ist, erklärt werden. Dahingegen kann das $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ -Verhältnis des Rothebachs (M25), aufgrund der Anreicherung an ^{18}O , auf den Einfluss von Verdunstungsprozessen im Wasser hindeuten. Zu vermuten ist, dass sich hier der Einfluss der Verdunstung im Fischteich – der einen Abfluss in den Rothebach besitzt – zeigt.

Die Isotopenverhältnisse der Proben, die eine deutlich gegenüber dem Niederschlag abgereicherte Isotopenzusammensetzung ($\delta^{18}\text{O}$ zwischen -10‰ und $-9,5\text{‰}$ V-SMOW) aufweisen und die der **Kategorie 3** zugeordnet sind, können plausibel durch intensive Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen (bei niedrigen Temperaturen) post-eiszeitlicher Grundwässer erklärt werden. Einen Einfluss eiszeitlicher Wässer – die erfahrungsgemäß deutlich stärker abgereicherte Isotopenwerten ($\delta^{18}\text{O} < -10\text{‰}$ und $\delta^2\text{H} < -70\text{‰}$) aufweisen [Clark & Fritz 1997] – scheint angesichts der Bandbreite der Isotopenwerte dieser Kategorie eher unwahrscheinlich.

Die von der GWML abweichenden $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ -Werte des Grundwassers der GWM H24b (**Kategorie 4**) können entsprechend Abb. 9.12 auf die Hydratation von Silikaten oder die Ausfällung von hydratisierten Salzen zurückgeführt werden.

Die ungewöhnlich stark im Vergleich zu den übrigen Grundwässern der Asse angereicherte Wasserisotopenzusammensetzung der beiden Proben der GWM R5 und R7 (**Kategorie 5**) kann plausibel durch die Evaporation von Meerwasser, welches initiale $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ -Werte nahe oder gleich dem V-SMOW besessen hat, erklärt werden [Klaus 2008]. Diese Hypothese ist aber nicht mit der Herkunft dieser Grundwässer als fossiles Porenwasser aus den Kalksteinen des Unteren Muschelkalk *mu* kompatibel und erfordert die Einwanderung dieser Lösungen aus angrenzenden salinaren Schichtfolgen des Oberen Buntsandstein (Röt) oder des Mittleren Muschelkalk. Ein Einfluss von Evaporiten des Oberen Buntsandstein auf die Grundwässer im Unteren Muschelkalk kann für die GWM R5 und R7 aus deren ^{34}S -Werten abgeleitet werden [GSF 2002a]. Möglicherweise sind auch noch weitere Prozesse an der Genese dieser Wässer beteiligt, wie z.B. Membran-Filtration, Auflösung von Mineralen und Freisetzung von Kristallwasser, etc. [Horita 2005], die momentan nicht quantifiziert werden können.

Die angereicherten $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ -Werte der an der Stelle L658008 (658-m-Sohle, Südflanke) gefassten Zutrittslösung sind durch Evaporation entlang der Fliesspfade im Asse-Grubengebäude erklärbar. Einflüsse weiterer Prozesse, wie z.B. die Freisetzung von Kristallwasser bei der Aufsättigung der Lösungen im Deckgebirge sowie eine Beteiligung von salzstockinternen Lösungen in geringem Umfang, ist ebenfalls möglich, kann aber im Rahmen der vorliegenden Daten nicht geklärt werden.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 365 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Bei einer angenommenen Ausgangs-Isotopenzusammensetzung der an der Stelle L658008 gefassten Zutrittslösung im gemittelten Bereich der charakteristischen Asse-Grundwässer (Kategorie 1: $\delta^2\text{H}$: ca. -60 ‰ V-SMOW und $\delta^{18}\text{O}$: ca. -8,5 ‰ V-SMOV), ergibt sich abgeschätzt eine Steigung der Verdunstungsgeraden um einen Wert von ca. 2. Diese Steigung liegt deutlich unter der Geradensteigung, die sich, in Abhängigkeit von der Temperatur und Luftfeuchtigkeit, bei Verdunstung von Süßwasser an offenen Wasserflächen ergibt (Werte zwischen ca. 4 und 6 nach [Clark & Fritz 1997]). Diese geringe Steigung kann als ein Hinweis darauf interpretiert werden, dass die Verdunstung entlang der Fliesspfade in ungesättigten Bereichen stattfindet, die ein im Vergleich zur Verdunstung an offenen Wasserflächen geringeres Verhältnis von Lösungsvolumen zur Fläche der Lösungs-Luft-Grenzschicht besitzen und somit bedingt durch die erhöhte Rate des Lösungs-Luftaustausches erhöhte kinetische Verdunstungseffekte aufweisen [Clark & Fritz 1997]. Ob die durchflossene Kiesstrecke diesen Effekt erklären kann oder dazu beiträgt, sollte durch eine direkte Beprobung der Lösung an der Tropfstelle geklärt werden.

Anhand der $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der gefassten Zutrittslösung gegenüber den oben angenommenen Durchschnittswerten der Asse-Grundwässer im Bereich der GWML (Abb. 9.11), ergibt sich eine ^{18}O -Anreicherung durch Evaporation im Bereich von 0,5 ‰ bis 1,5 ‰ V-SMOW. Mittels dieses Wertebereichs kann der anteilmäßige Wasserverlust durch Verdunstung entlang der Fliesspfade, der an der Zutrittsstelle L658008 (658-m-Sohle; Südflanke des Grubengebäudes) gefassten Zutrittslösung, mittels Rayleigh-Destillation auf Werte von weniger als 10 % abgeschätzt werden. Hierbei ist der Umfang der Verdunstung zeitlich sehr starken Variationen unterworfen (Abb. 9.11). Diese abgeschätzten Verdunstungsverluste sind in etwa vergleichbar mit den in [GSF 2002a] genannten Werten.

9.5 STRONTIUMISOTOPE

Die Ergebnisse der Sr-Isotopenuntersuchung der GWM und M-Messstellen (33 Proben) sind in Abb. 9.13 grafisch dargestellt; die Laboregebnisse sind tabellarisch in Tab. F.11 (GWM) und F.12 (M-Messstellen) im Anhang aufgeführt. Zusätzlich ist in Abb. 9.13 der Mittelwert der Zutrittslösung L658008 aus den Jahren 2002 und 2003 (18 Proben) nach Analysendaten in [Schmidt 2006] dargestellt. Anzumerken ist, dass an den Grundwässern aus Schacht Asse 1 und 3 sowie aus den beiden Salzquellen M63 und M305 keine Sr-Isotope bestimmt wurden.

Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der Wasserproben des Asse-Deckgebirges aus den GWM, den M-Messstellen und der Tropfstelle L658008 liegen insgesamt im Bereich von 0,710200 bis 0,707150. Der 2σ -Standardfehler der Messwerte der einzelnen Proben liegt mit Ausnahme der Probe H6-2010-30m (2σ -Standardfehler = 0,000234), im Bereich zwischen 0,000014 (Probe H23-2010-80m) und 0,000074 (R5-2010-830m). Bis auf die Probe aus der GWM H6 ist dementsprechend die Variabilität der Sr-Isotopenwerte deutlich höher als der 2σ -Standardfehler und die Sr-Isotopendaten lassen sich somit in Bezug auf potentielle Fliesspfade oder Mischung verschiedener Grundwässer interpretieren. Dies trifft auch auf die Proben der Zutrittslösung L658008 zu (2σ -Standardfehler der einzelnen Messwerte <0,000014; [Schmidt 2006]).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 366 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

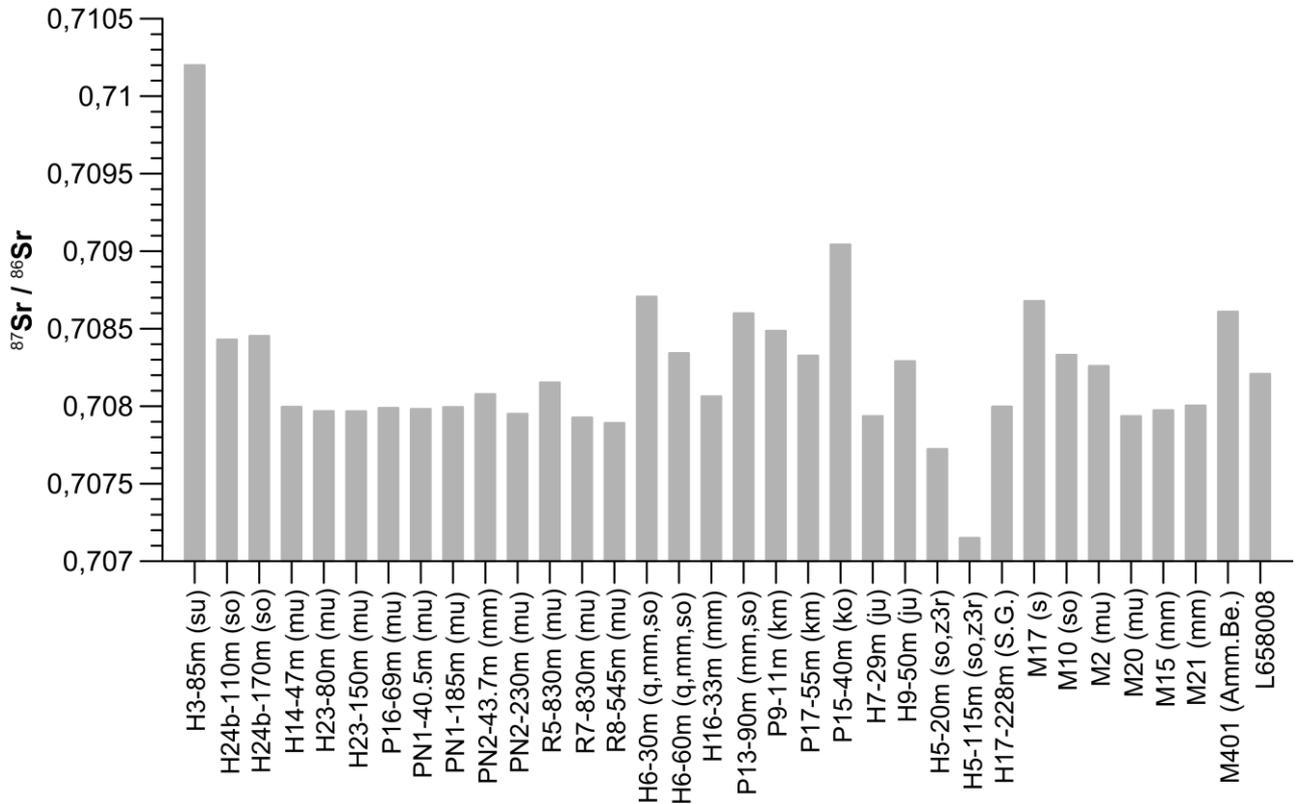


Abb. 9.13: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der Grundwässer aus den GWM und M-Messstellen des Asse-Höhenzuges (Probennahme 2010, daher Name der Probe gekürzt) inklusive der gefassten Zutrittslösung (L658008; 658-m-Sohle; Mittelwert der Jahre 2002-2003).

In der Reihenfolge der lithostratigraphischen Zuordnung des gemäß Bohrprofil angenommenen Hauptzuflusshorizontes ergeben sich die folgenden Wertebereiche für die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der Grundwässer des Asse-Deckgebirges für die GWM und M-Messstellen (Abb. 9.13):

- Das Grundwasser der GWM H3, die gemäß Bohrprofil Schichten des Unteren Buntsandstein (*su*) erschließt, weist einen sehr hohen, deutlich über den $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnissen der übrigen Grundwässer liegenden Wert von 0,710200 auf.
- Das Grundwasser der GWM H24b (*so*) zeigt $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse von 0,708429 und 0,708452, das Wasser der Quelle M10 (*so*) 0,70835.
- Die Grundwässer der GWM und M-Messstellen, die gemäß Bohrprofil den Unteren Muschelkalk (*mu*) erschließen, weisen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse zwischen ca. 0,7079 bis 0,7082 auf. Die Grundwässer aus den Messstellen, die den Mittleren Muschelkalk (*mm*) erschließen, weisen im Vergleich eine deutlich höhere Variabilität der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse zwischen ca. 0,7079 bis 0,7087 auf. Dies ist möglicherweise dadurch bedingt, dass der *mm* bis auf die GWM H16 (0,708062) nur im Zusammenhang mit anderen Formationen erschlossen wird.
- Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der Grundwässer aus den GWM P9 und P17, die gemäß Bohrprofil jeweils im Mittleren Keuper (*km*) verfiltriert sind, liegt bei 0,708485 bzw. 0,708325. Das Grundwasser aus der GWM P15 (*ko*) ist davon deutlich abgrenzbar (0,709042).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 367 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- Die Grundwässer aus den GWM H7 und H9 die gemäß Bohrprofil jeweils den Unteren Jura (*ju*) erschließen, weisen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse von 0,707935 bzw. 0,708289 auf.
- Die Grundwässer aus GWM H5 (*so, z3r*) zeigen in Abhängigkeit von der beprobten Tiefenlage deutlich unterschiedliche $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse von 0,707723 (20 m) bzw. 0,707150 (115 m). Deutlich höher (0,707997) ist der Wert für das Grundwasser aus GWM H17 (Subsionsgerinne am Salzspiegel).

Der gefasste Hauptlösungszutritt L658008 (658-m-Sohle) zeigt für den beprobten Zeitraum (2002 bis 2003) relativ konstante $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse zwischen ca. 0,70833 bis 0,70836 [Schmidt 2006].

Die Sr-Gehalte der Grundwässer des Asse-Höhenzuges liegen im Bereich zwischen 0,6 bis 220 mg/l Sr. Entsprechend dem jeweiligen Sr-Gehalt lassen sich die Wasserproben aus den Messstelle wie folgt differenzieren (Abb. 9.14):

- Sr-Gehalte zwischen ca. 1 mg/l und ca. 30 mg/l, die im Bereich der geogenen Hintergrundwerte liegen, sind charakteristisch für die Grundwässer des überwiegenden Teils der GWM und M-Messstellen. In diesem Bereich liegt nach den Analyseergebnissen in [Schmidt 2006] auch der Sr-Gehalt des Hauptlösungszutritts an L658008 auf der 658-m-Sohle mit Werten von rund 21 mg/l (2002 bis 2003).
- Geringe Sr-Gehalte <1 mg/l finden sich in den Grundwässern aus GWM H3 (*su*) und P15 (*ko*).
- Hohe Sr-Gehalte weisen die Grundwässer aus den GWM R5 und R7 (*mu*, 190 mg/l bzw. 220 mg/l) sowie aus GWM H24b (*so*, 84 mg/l bzw. 110 mg/l) auf.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 368 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

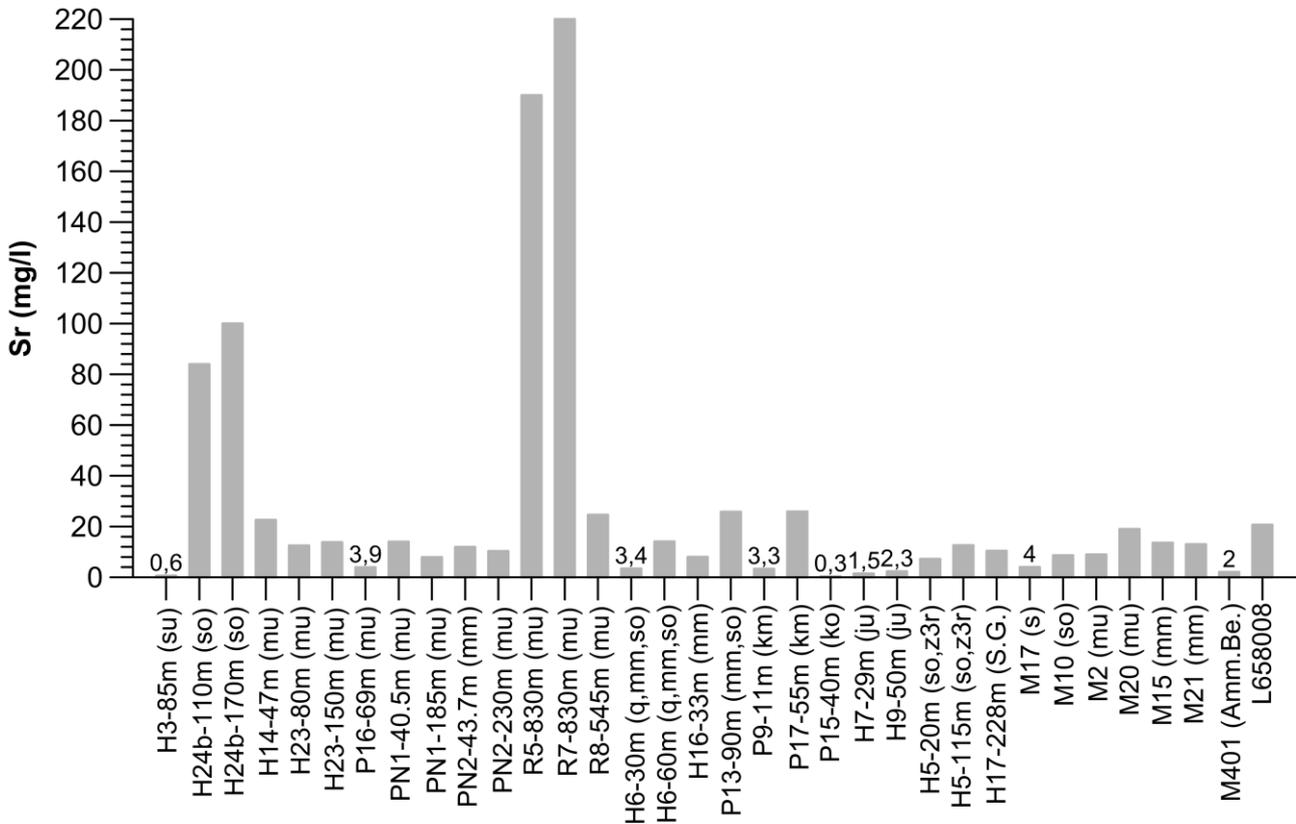


Abb. 9.14: Sr-Gehalte der Grundwässer aus den GWM und M-Messstellen des Asse-Höhenzuges (Probennahme 2010) inklusive der gefassten Zutrittslösung (L658008; 658-m-Sohle; Mittelwert der Jahre 2002-2003). Beschriftet sind nur Proben mit Sr-Gehalten <5 mg/l.

Die Sr-Gehalte der Grundwässer des Asse-Höhenzuges zeigen insgesamt visuell eine sehr gute Korrelation mit den Ca-Konzentrationen (Abb. 9.15) sowie eine gute Korrelation mit den Sulfat-Gehalten (nicht gezeigt). Erhöhte Sr-Gehalte gegenüber dem durch die übrigen Messstellen definierten Ca-Sr- bzw. auch Sulfat-Sr-Trend weisen die Grundwässer der GWM H14 (*mu*), H23 (*mu*), M15 (*mm*) und M20 (*mu*) auf. Signifikante positive Abweichungen vom Sr-Sulfat-Trend zeigen die GWM R5 und R7, negative Abweichungen die GWM H16 und H5 (115 m Tiefe). Insgesamt deutet diese Abhängigkeit auf eine Herkunft des Sr aus den Karbonaten und den Sulfaten, wobei es möglicherweise Schichtenfolgen innerhalb des Muschelkalk gibt, die relativ an Sr angereichert sind (möglicherweise die fossilreichen, gebankten Schichtfolgen des Unteren Muschelkalk).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 369 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

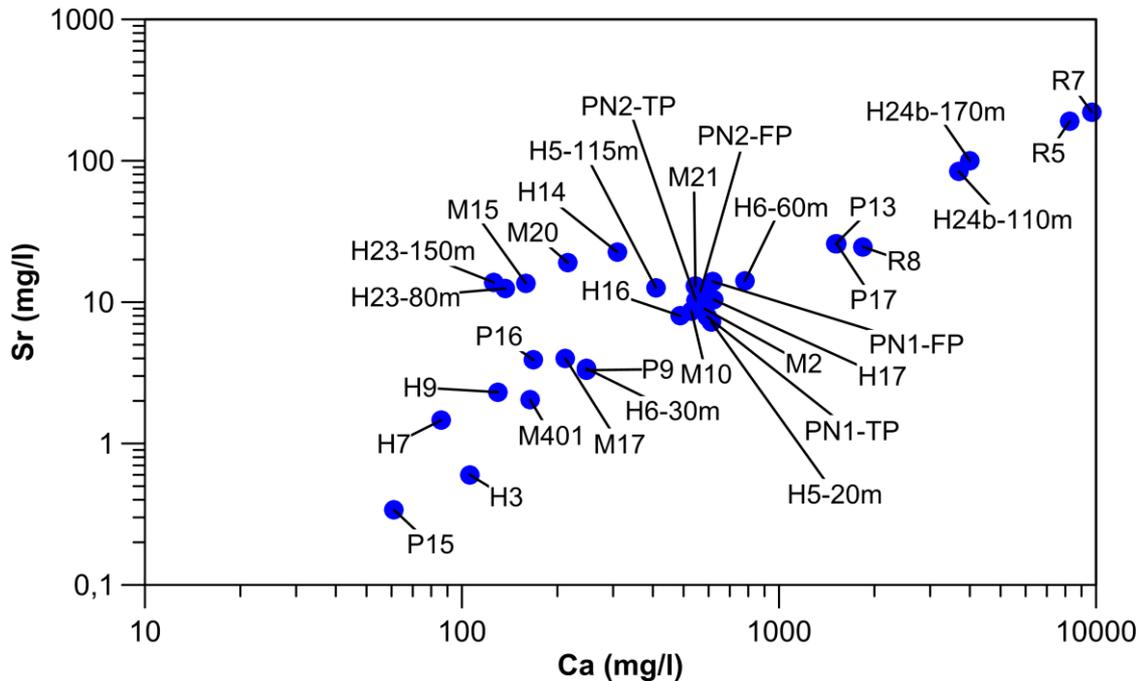


Abb. 9.15: Sr-Gehalte aufgetragen gegen die Ca-Gehalte der Grundwässer aus den GWM und M-Messstellen des Asse-Höhenzuges (Probennahmekampagne 2010/11).

Die grafische Darstellung des $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisses gegen den als Kehrwert aufgetragenen Sr-Gehalt [Faure & Mensing 2005] kann es ermöglichen, Fließpfade bzw. Mischungen von Wässern verschiedener Genese zu detektieren, falls die Sr-Isotopie und der (eluierbare) Sr-Gehalt der durchströmten GW-Leiter und potentiell zuströmender Wässer (z.B. Exfiltrat aus Vorflutern) bekannt sind (Abb. 9.16). Die Sr-Isotopie des Niederschlagswassers kann dabei aufgrund seines im Vergleich zu typischen Grundwässern um mehrere Größenordnungen geringeren Sr-Gehaltes zumeist vernachlässigt werden (vgl. Werte von Göttinger Niederschlagswasser in [Bultmann et al. 2008])¹. Im $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - gegen $1/\text{Sr}$ -Diagramm fallen die Proben eines Zwei-Komponenten-Mischungssystem auf eine gerade Linie zwischen den beiden Endgliedern. Die Proben von Multi-Komponenten-Mischungssystemen liegen innerhalb des von den Endgliedern aufgespannten Polygons.

¹ Somit ist zu erwarten, dass das direkte Einsickern von Niederschlagswasser in das Standrohr einer (defekten) GWM zu einer Verdünnung der Sr-Gehalte aber praktisch nicht zu einer Veränderung der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse führt.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 370 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

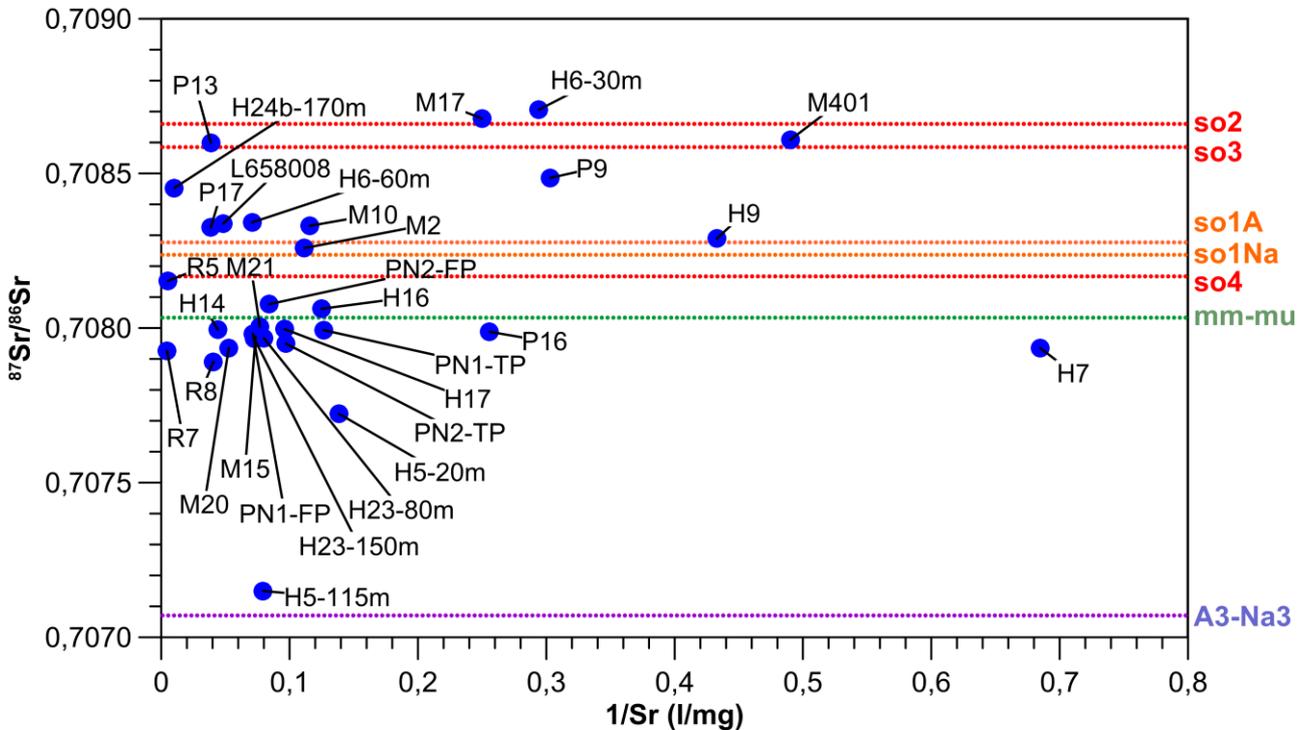


Abb. 9.16: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der Grundwässer des Asse-Deckgebirges aufgetragen gegen den Kehrwert des jeweiligen Sr-Gehaltes (aufgrund ihres sehr geringen Sr-Gehaltes sind die Proben der GWM H3 und P15 nicht gezeigt). Zudem sind die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der lithologischen Einheiten des Deckgebirges gezeigt (Mittelwerte der Analysendaten in [Schmidt 2006]).

Für die Grundwässer des Asse-Deckgebirges ist die Evaluierung von Fließspfaden bzw. von Mischungen verschiedener Grundwassertypen anhand des in Abb. 9.16 gezeigten $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - gegen $1/\text{Sr}$ -Diagramms nur bedingt möglich, da für die eluierbaren Sr-Gehalte der Schichtenfolgen keine belastbaren Daten vorliegen. Trotzdem erlaubt diese Darstellung eine gegenüber Abb. 9.13 aussagekräftigere Gruppierung der Grundwässer des Asse-Deckgebirges anhand ihrer Sr-Isotopie und ihres Sr-Gehaltes. Ergänzt um die Mittelwerte der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der Schichtfolgen des Zechsteinsalinar (Na3, A3), des Oberen Buntsandstein (so1Na, so1A, so2, so3, so4) und des Muschelkalk (mm und mu) in Tab. 9.3 (Werte nach Batchversuchen in [Schmidt 2006]) können erste Aussagen zur Genese derjenigen Grundwässer gemacht werden, die Fließspfade in diesen Schichtfolgen besitzen. Für die Grundwässer, an denen zwar $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse bestimmt wurden, die aber aus denjenigen Schichtenfolgen des Asse-Deckgebirges stammen, für die keine Sr-Isotopendaten der Gesteine vorliegen – d.h. für die Schichtfolgen des Unteren Buntsandstein (su), des Keuper (km, ko) und des Unteren Jura (ju) – können nur bedingt Aussagen gemacht werden.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Sachstandsbericht Hydrogeologie			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 371 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. 9.3: Arithmetischer Mittelwert der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse des Eluats aus den Festkörperproben [Schmidt 2006].

Lithologie	Probenanzahl	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ im Eluat
<i>Na3, A3</i>	2	0,70707
<i>SO_{1Na}</i>	4	0,70824
<i>SO_{1A}</i>	3	0,70828
<i>SO₂</i>	2	0,70866
<i>SO₃</i>	4	0,70859
<i>SO₄</i>	3	0,70817
<i>mm-mu</i>	3	0,70803

Ein cursorischer Vergleich der am Standort Asse erhobenen Sr-Isotopenwerte [Schmid 2006] mit Werten aus dem Zechstein der Saline Luisenhall und aus den dortigen Deckgebirgseinheiten [Bultmann et al. 2009] ergibt für den Zechstein vergleichbare $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse (0,7072; nicht nach Einheiten differenziert), für den Oberen Buntsandstein einen Wert von 0,7086, der dem Wert des *so2* bzw. *so3* am Standort Asse entspricht, sowie einen Wert für den Mittleren und Unteren Muschelkalk von 0,7084, der deutlich höher ist als der Wert des *mu* und *mm* am Standort Asse.

Die nachfolgenden Aussagen bezüglich potentieller Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen sind – vorbehaltlich der Repräsentativität der Gesteins-Sr-Isotopendaten – auf Basis des Vergleichs der gemessenen Sr-Verhältnisse in den Grundwässern mit den Werten der Gesteine möglich (Abb. 9.16):

- Das Grundwasser aus der GWM H5 (115 m Tiefe) weist ein $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis auf, das nahezu mit den Isotopenverhältnissen des durch die Messstelle in dieser Tiefenlage erschlossenen residualen Zechsteins (*z3r*) übereinstimmt. Auch das in dieser Messstelle in 20 m Tiefe beprobte Grundwasser dieser Messstelle zeigt im Verhältnis zu den übrigen Wässern ein niedriges $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis.
- Das Grundwasser nahezu aller GWM und M-Messstellen, die Gesteine des Muschelkalk (*mu* bzw. *mm*) erschließen (GWM H14, H23, P16, M15, M20, M21, PN-Bohrungen, R7, R8), liegt mit dem $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis nahe an dem Mittelwert der Isotopenverhältnisse dieser Schichtfolgen. Eine signifikante Abhängigkeit des $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisses von dem im Bereich von ca. 4 mg/l bis 24 mg/l liegenden Sr-Gehalt dieser Wässer ist visuell nicht zu erkennen. Hervorzuheben ist der um eine Größenordnung höhere Sr-Gehalt der GWM R7.
- Das Grundwasser der GWM H7 (*ju*), liegt nahe an den $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnissen der *mm-mu*-Abfolge. Das Grundwasser der GWM H17 (Subrosionsgerinne am Salzspiegel) liegt ebenfalls nahe an den $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnissen der *mm-mu*-Abfolge.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 372 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- Die Wässer der GWM, die basale Schichtfolgen des Oberen Buntsandstein (so) zumindest anteilmäßig erschließen (GWM H24b: so1 und so2, H6 bei 60 m Tiefe: so1) liegen mit ihren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnissen nahe dem Bereich, der durch die Isotopenverhältnisse der Schichtfolgen des so1 aufgespannt wird, wobei das Wasser der GWM H24b einen um eine Größenordnung höheren Sr-Gehalt aufweist als das Wasser der GWM H6. In diesem Bereich liegt auch das Grundwasser der Röt-Quelle M10 (so, undifferenziert). Dahingegen weist das Wasser der GWM P13, die in 90 m Tiefe den so3 erschließt, ein $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis auf, das sehr nahe an der Sr-Isotopie dieser Gesteine liegt.
- Das Grundwasser aus den Messstellen, die Schichten des Muschelkalk (Quelle M2), des Mittleren Keuper (GWM P9, P17) und des Unteren Jura (GWM H9) erschließen, weisen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse auf, die im Bereich, der durch die Sr-Isotopie der Schichten des Oberen Buntsandstein aufgespannt wird, liegen. In diesem Bereich liegt auch die Sr-Isotopie der Ammerbeek (M401).
- Die auf der 658-m-Sohle an der Zutrittsstelle L658008 gefasste Zutrittslösung liegt mit ihren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisses nahe an den Sr-Isotopenverhältnissen der basalen Schichtfolgen des Oberen Buntsandstein (so1Na bzw. so1A), aber deutlich unter den Sr-Isotopenverhältnisse der beiden mittleren Röt-Schichtfolgen (so2 bzw. so3).

Insgesamt zeigt die Auswertung der Sr-Daten, dass sich für einen Großteil der Messstellen, die Sr-Isotopenverhältnisse des beprobten Grundwassers dem jeweils erschlossenen GW-Leiter zuordnen lassen. Allerdings existieren auch Messstellen, bei denen diese Zuordnung nicht eindeutig ist (z.B. mehrere Messstellen im Mittleren Muschelkalk) bzw. bei denen sich aufgrund der nicht bekannten Sr-Isotopie der erschlossenen GW-Leiter (Unterer Buntsandstein, Oberer und Mittlerer Keuper, Unterer Jura) am Standort, keine belastbaren Aussagen zur Genese dieser Wässer anhand der Sr-Isotopie machen lassen.

Weiterhin ist hervorzuheben, dass die gemessenen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse potentiell auch durch die Mischung verschiedener Grundwassertypen des Asse-Deckgebirges erklärt werden können. Um eindeutigere und belastbarere Aussagen zu möglichen Mischwässern zu erhalten, sind dementsprechend nicht nur Sr-Isotopensignaturen der Schichtfolgen, sondern auch Daten zu den eluierbaren Sr-Gehalten notwendig.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 373 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

10 SONDERERKUNDUNGSPROGRAMME

Folgende Sondererkundungsprogramme, die über die reguläre Erfassung von meteorologischen und hydrologisch-/hydrogeologischen Daten am Standort Asse hinausgehen wurden in den Jahren 2002 bis 2011 durchgeführt:

- Abflussmessungen an den Vorflutern und Quellen der Jahre 2003 und 2004: Die in den Jahresberichten [GSF 2003, 2004] dokumentierten Ergebnisse dieser Untersuchungen sind bereits in Kap. 5.4 dargestellt worden und werden deshalb im Folgenden nicht weiter ausgeführt.
- Eine Diplomarbeit [Seidel 2011a] zur Kartierung der Quell- und Oberflächengewässer des Asse-Höhenzuges.
- Eine Diplommkarte [Seidel 2011b] mit der Darstellung der Nutzung des Edelgasisotops Radon-222 als natürlichen Tracer für die Erkundung von möglichen Grundwassereintritten in das Flussbett der Altenau.

10.1 KARTIERUNG DER QUELL- UND OBERFLÄCHENGEWÄSSER DES ASSE-HÖHENZUGES

Die Diplomarbeit [Seidel 2011a] mit dem Titel „Analyse von Quell- und Oberflächengewässern zur Komplementierung des bestehenden Messnetzes“ wurde in den Jahren 2010 bis 2011 am Fachbereich 11 (Institut für Physische Geographie) der Goethe-Universität Frankfurt am Main für das Bundesamt für Strahlenschutz durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war – auf der Grundlage des 20 Jahre alten Hydrogeologischen Forschungsprogramms des ehemaligen Betreibers (GSF) – die sogenannten M-Messstellen, d.h. die Quellen sowie Brunnen und Wasserbehälter und die Oberflächengewässer (Vorfluter, Drainagen) des Asse-Höhenzuges neu zu inventarisieren und hinsichtlich einer Aufnahme in ein hydrogeologisches Messnetz zur Erkundung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge der Asse zu bewerten.

Die Lokalisierung der bestehenden etwa 165 M-Messstellen erfolgt dabei auf der Basis der vorangegangenen Untersuchungskampagnen (i.W. dokumentiert in [GSF 1994]) und der Kompilation in [Colenco 2006] sowie durch eine Geländebegehung und mittels eines GPS (Garmin eTrex). Die Schüttung bzw. der Abfluss wurde für ausgewählte Messstellen gemessen. Zudem wurde die GW-Beschaffenheit an diesen Messstellen durch die physikalisch-chemischen (vor-Ort) Parameter sowie anhand von hydrochemischen Analysen bestimmt.

Die zusammengefasste Darstellung der inventarisierten M-Messstellen auf Basis der Daten (Beschreibung, Lokalität) in [Seidel 2011a] ist in Tab. A.4 und A.5 im Anhang gezeigt. Tab. A.5 enthält auch einen Abgleich der Positionsdaten in [GSF 1994] mit den Daten in [Seidel 2011a]. Eine graphische Darstellung der jeweiligen Positionen ist in den Abb. A.1 bis Abb. A.4 im Anhang gezeigt.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 374 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Neu von [Seidel 2011a] aufgenommene Messstellen, die für eine Aufnahme in das hydrogeologische Messnetz vorgeschlagen wurden, sind die M10b (Quelle), M313b (Vorfluter), M316b (Brunnen), M400 (Quelle), M401 (Vorfluter), M402 (Quelle), M403 (Quelle), M404a/b (Brunnen), M405 (Stauanässe/Quelle), M406 (Quelle) und M407 (Teich bzw. Teichüberlauf).

Trocken aufgefunden wurden die beiden Brunnen M37 und M72 [Seidel 2011a]. Im Rahmen der Geländebegehung von [Seidel 2011a] nicht mehr aufgefundenen Quellen oder Drainagen sind die M4, M53, M56, M68, M74 und M77.

Der Abgleich der revidierten Koordinaten und Höhenlagen in [Seidel 2011a] mit den Werten in [GSF 1994] ergibt 62 Messstellen mit einer Lageabweichung von mehr als 10 m und davon 30 Messstellen, die eine Abweichung von mehr als 25 m gegenüber den früheren Angaben aufweisen. Besonders große Lageabweichungen von mehr als 50 m ergaben sich dabei für die M-Messstellen M10, M14, M22, M26, M48, M52, M57 und M57b, M100a, M206aV, M212aV und M314. Die großen Abweichungen bei den M-Messstellen M19a, M26s, M108 und M315 stellen offensichtlich einen Übertragungsfehler dar.

In Bezug auf die Höhenlage wurden, neben einem offensichtlich fehlerhaften Wert für die Quelle M10 (180 mNN in [GSF 1994], 140 mNN in [Seidel 2011]), der sich nicht mit der Höhe der Isolinien der topographischen Karte am Standort deckt, deutliche Abweichungen von mehr als 10 m für die Quellen und Drainagen M2, M4, M14, M15, M26, M29, M40, M55a, M58, M75, M110, M311 und M315b gefunden.

Nach Ansicht der Autoren dieses Berichtes ist es empfehlenswert, die Koordinaten und die Höhenlage derjenigen Quellen, d.h. insbesondere der Messstellen M10, M14 und M57, zu überprüfen, die für die Konstruktion der GW-Gleichen ([Colenco 2006], vgl. Kap. 7) verwendet wurden und bei denen sich aufgrund der Untersuchungen von [Seidel 2011a] deutliche Abweichungen gegenüber den in früheren Berichten [GSF 1994, Colenco 2006] angegebenen Positionen ergeben haben.

10.2 RADON-222 ALS NATÜRLICHER TRACER FÜR GRUNDWASSEREINTRITTE IN DIE ALTENAU

Die Diplomkarte [Seidel 2011b] mit dem Titel „Nutzung des Edelgasisotops Radon-222 als natürlicher Tracer zur Erkundung von möglichen Grundwassereintritten in das Flussbett der Altenau“ wurde in den Jahren 2010 und 2011 an der Goethe-Universität Frankfurt am Main, Fachbereich 11 (Institut für Physische Geographie) erstellt.

Ziel der Untersuchungen war es, unterirdische Zuflüsse in die Altenau im Bereich der Nordflanke des Asse-Höhenzugs festzustellen. Der Zutritt von Grundwässern in die Altenau aus dem Asse-Höhenzug erfolgt überwiegend oberirdisch über kleinere Gerinne, die durch Quellaustritte im Asse-Höhenzug gespeist werden. Im Bereich bei Groß Denkte am Strukturende des Asse-Höhenzugs hingegen sind unterirdische Zuflüsse wahrscheinlich.

Um diese Frage zu klären, wurde in einer Messkampagne im Sommer 2010 die Altenau von Wendessen bis nach Groß Vahlberg als komplette Profillinie erfasst. Dabei wurde mit einer Mess-



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 375 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

apparatur kontinuierlich der Gehalt an Radon-222 bestimmt. Aufgrund seiner geringen Halbwertszeit von 3,8 Tagen ist der Radon-222-Gehalt im Grundwasser, in dem ständig neues Radon-222 aus der Matrix der GW-Leiter hinzugefügt wird, höher als in Oberflächenwässern, in denen Radon-222 schnell an die Atmosphäre abgegeben wird. Unterirdische Zuflüsse in der Altenau werden daher als Radon-222-Maxima entlang der gemessenen Profillinie deutlich. Durch eine zusätzliche Messung der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit und der Temperatur sollten diese Zutrittsbereiche verifiziert werden, da unterirdische Zuflüsse bei vorhandenen Leitfähigkeits- und Temperaturunterschieden zwischen Grund- und Oberflächenwasser im Oberflächengewässer durch Veränderungen dieser Parameter ebenfalls deutlich werden.

Die Messapparatur zur Bestimmung des Radon-222-Gehaltes wurde auf einem Boot montiert, welches auf der Altenau mit geringer Geschwindigkeit flussaufwärts Richtung Groß Vahlberg bewegt wurde. Hierdurch wurde eine Beeinflussung durch aufgewirbeltes Sediment minimiert, da das Boot aufgrund der geringen Tiefe und Breite der Altenau angeschoben werden musste. Da dies vom Ufer aus nicht möglich war, war ein Betreten der Gewässersohle unvermeidlich. Vom Bug des Boots wurde ein Schlauch bis knapp oberhalb der Gewässersohle geführt, durch den kontinuierlich Wasser in eine Messzelle gepumpt wurde. In dieser Messzelle wurde ständig der Gehalt an Radon-222 die spezifische elektrische Leitfähigkeit und die Wassertemperatur bestimmt. Die Position des Boots wurde stetig über GPS ermittelt. Die Messung fand bei niedrigem Wasserstand (Sommer 2010) statt, damit ein möglicher Zustrom von Grundwasser im Verhältnis zum Oberflächenwasservolumen ausreichend ins Gewicht fiel. Nach Ende der Befahrung wurden die GPS-Daten mit den Radon-222-, Leitfähigkeits- und Wassertemperatur-Messwerten zusammengeführt und Profillinien entlang der Altenau erstellt (Abb. 10.1). Dabei treten insgesamt acht Flussabschnitte mit sich eindeutig verändernden Parametern hervor, die als „Areas of Interest“ (AOI) festgehalten wurden. Sie könnten potentielle Zutrittsstellen für Grundwässer mit – im Vergleich zur Altenau – unterschiedlichem Chemismus darstellen. Vier der acht AOI befinden sich entlang des Abschnitts der Altenau zwischen Wendessen und Wendesser Mühle (AOI 1 bis 4), drei weitere (AOI 5 bis 7) sind an der Altenau nördlich des Asse-Höhenzugs unterhalb des Kreuzbergs gelegen und einer (AOI 8) befindet sich entlang des Abschnitts der Altenau von Mönchevahlberg nach Weferlingen.

Neben der Identifizierung der genannten auffälligen Bereiche, ist auch der Verlauf der jeweiligen Messwerte über die gesamte Strecke zu betrachten (Abb. 10.1). Im Falle der elektrischen Leitfähigkeit zeigt sich ein Abschnitt mit erhöhten Werten zwischen Wendessen und Groß Denkte, in dem höher mineralisiertes Wasser, wie es auch in den Salzquellen bei Groß Denkte auftritt, zutritt. Die höchsten Werte des gesamten gefahrenen Flussabschnitts wurden direkt nach dem Passieren der Wendessener Mühle westlich des Asse-Ausläufers (dem Sandberg) und im Bereich des Zuflusses der Hasselbeek nördlich Groß Vahlberg gemessen. Gegen Ende des gemessenen Flussabschnitts, etwa ab der Höhe von Mönchevahlberg bis nach Groß Vahlberg, steigen die Radon-222-Konzentrationen kontinuierlich an und erreichen den höchsten gemessenen Wert von 0,19 Bq/l direkt zum Ende der Kampagne. Es bleibt die Frage offen, ob zu diesem Zeitpunkt mit Einmündung der Hasselbeek bei Groß Vahlberg der höchste Radonpeak erreicht wurde, oder ob sich im weiteren Verlauf eine bisher unbekannte Emissionsquelle befindet.

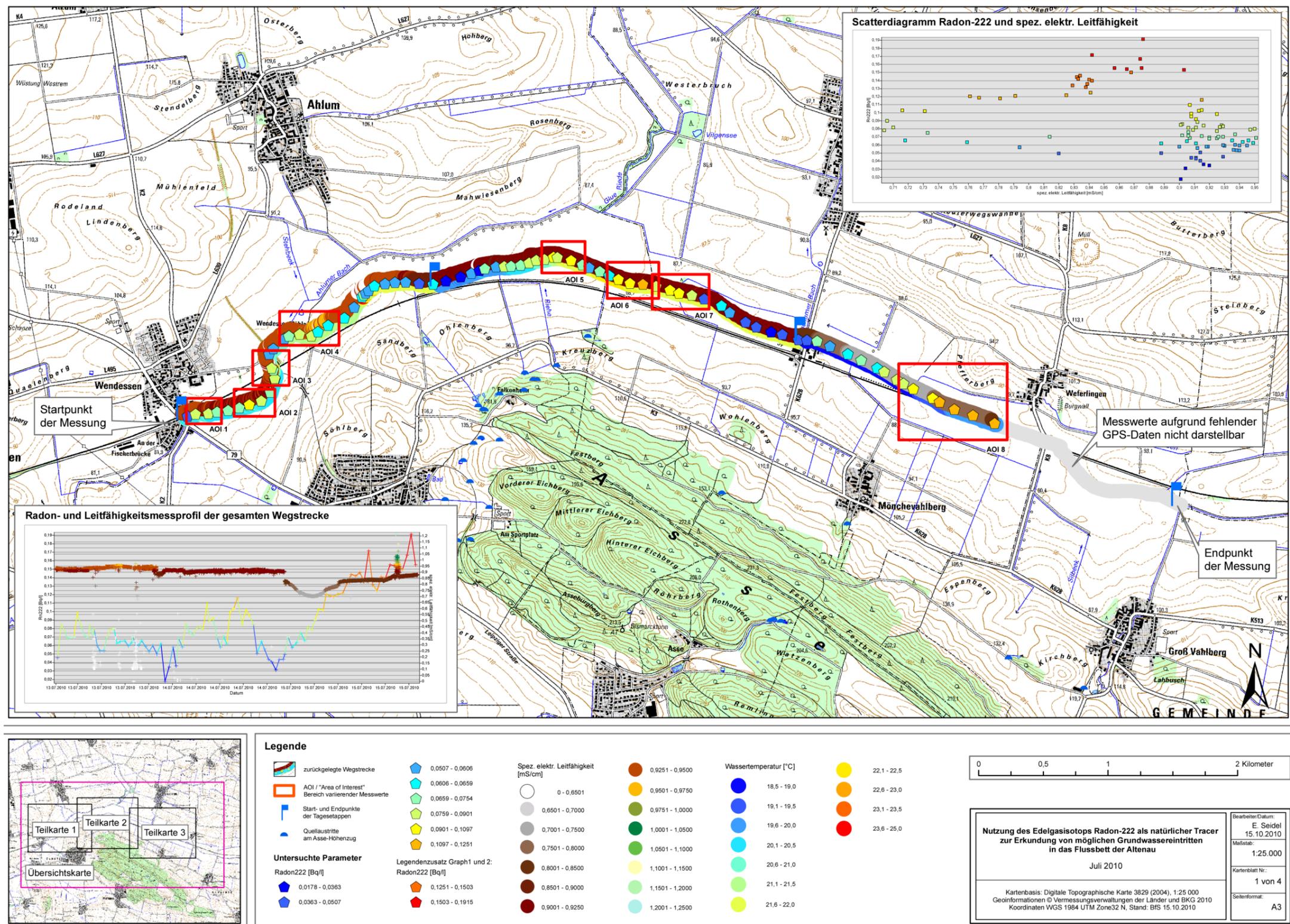


Abb. 10.1: Übersichtskarte der Ergebnisse der Radon-222, Leitfähigkeits- und Wassertemperaturmessungen entlang des Flussabschnitts der Altenau zwischen Groß Vahlberg und Wendessen (Abb. aus [Seidel 2010b]).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 377 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

11 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Gegenstand dieses Berichts ist die Darstellung der vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und der vom vorherigen Betreiber (HMGU) erhobenen hydrologischen und hydrogeologischen Daten im Deckgebirge der Salzstruktur Asse für den Zeitraum von 10 Jahren, der die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 umfasst (Daten von 2012 in Anhang G). Diese Daten werden auch in Bezug gesetzt zu den Ergebnissen des von 1968 bis 1994 durchgeführten „Hydrogeologischen Forschungsprogramms Asse“ und der daran anschließend durchgeführten hydrologischen und hydrogeologische Standortüberwachung im Umfeld der Schachtanlage Asse II.

Die wesentlichen Aussagen im vorliegenden Bericht werden im Folgenden entsprechend der Reihenfolge der Kapitel zusammenfassend dargelegt. Im Einzelnen sind dies die Auswertungen der Grundwasserganglinien, der meteorologischen Daten und Abflussmessungen, der Grundwasserneubildung, der Grundwasseroberfläche, der Grundwasserbeschaffenheit sowie der Grundwasser- verweilzeit und -fliesspfade.

11.1 GRUNDWASSERGANGLINIEN

11.1.1 Datengrundlage, Messstellen und Messmethoden

Die Datengrundlage für die Darstellung und erste Analyse der Grundwasserganglinien bilden die Abstich- bzw. Standrohrspiegelhöhenmessungen der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 aus 25 Messstellen (Grundwassermessstellen, Schächten und Brunnen) im Asse-Deckgebirge.

Von diesen 25 Messstellen befinden sich 19 in der Südwest-Flanke und 6 in der Nordost-Flanke der Asse-Struktur. Insgesamt sind die Messstellen etwa in einem Bereich ca. 2 km in nordwestlicher und südöstlicher sowie ca. 0,9 km in südwestlicher Richtung um Schacht Asse 2 konzentriert.

Die Messstellen erschließen mit ihren Filterstrecken vorwiegend den Unteren und Mittleren Muschelkalk (*mu* bzw. *mm*) und den Unteren Buntsandstein (*su*). Der Obere Buntsandstein (*so*), der Obere Muschelkalk (*mo*), der Untere Jura (*ju*), der Mittlere bzw. Obere Keuper (*km* bzw. *ko*) und der residuale Zechstein des verstückelten Deckgebirges (*z3r*) werden jeweils nur von 1 bis 2 Messstellen bzw. nur im Verbund mit anderen Formationen erschlossen. Ein Subrosionsgerinne am Salzspiegel wird – so die Interpretation – durch eine Messstelle (GWM H17) zwischen Schacht Asse 1 und Schacht Asse 2 erfasst. Insgesamt wird der Untere Muschelkalk der Südwest-Flanke durch neun GWM erschlossen, während die übrigen Formationen zumeist durch eine bis maximal vier GWM erschlossen werden. Weitere potentielle GW-Leiter, wie z.B. der Basissandstein des Mittleren Buntsandstein in der Nordost-Flanke sowie das Residualgebirge des Oberen Buntsandstein und der Mittlere Muschelkalk der Nordost-Flanke werden nicht durch eine GWM erfasst. Weiterhin wird das Grundwasser aus dem Oberen Buntsandstein (*so*) oftmals nur gemeinsam mit Filterstrecken in angrenzenden hydrogeo-logischen Einheiten erschlossen (z.B. in der GWM H6).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 378 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die Tiefenlage der erschlossenen Gebirgsbereiche liegt überwiegend oberhalb von etwa 240 m Tiefe u. GOK. Nur die als GWM ausgebauten vier tiefen R-Bohrungen (R5 bis R8) erschließen den Unteren Muschelkalk der Südwest-Flanke in Tiefenlagen zwischen ca. 460 und 900 m u. GOK. Zur Ausprägung und Tiefenlage wasserführender Abschnitte oder Trennflächen (d.h. der potentiellen Zuflussbereiche) im Bereich der Filterstrecken liegen, mit Ausnahme der beiden zwischen September 2008 und März 2009 errichteten GWM PN1 und PN2 (jeweils im *mu* verfiltert), nur wenige belastbare Daten vor.

Die GWM weisen z.T. sehr langen Filterstrecken (bis zu 190 m Länge) auf, und die Filterstrecken mehrerer GWM schließen jeweils mehrere geologische Formationen ein. Mit Ausnahme der beiden GWM PN1 und PN2, liegen zum aktuellen baulichen Zustand der bereits in den 1970er- und 1980er-Jahren errichteten Messstellen keine Untersuchungen vor.

In mehreren Messstellen (z.B. in allen tiefen R-Bohrungen sowie in GWM H17) zeigt sich eine ausgeprägte Dichteschichtung die aufgrund der Tiefenlage der Filterstrecke durch Leakage von Oberflächenwasser bzw. von oberflächennahem gering mineralisierten Grundwasser in die Messstelle zu erklären ist.

Messtechnisch werden die Standrohrspiegelhöhen durch monatliche Abstichmessungen sowie kontinuierlich mittels Druckaufnehmern erfasst. Für letzteren Zweck kommt seit Beginn der Messungen das Seba- und seit 2010 parallel dazu das Diver-Druckaufnehmersystem zum Einsatz, deren Werte i.d.R. in 15-Minuten-Abständen abgespeichert werden.

Für den durch diesen Bericht erfassten Zeitraum 2002 bis 2011 liegen keine belastbaren (2002 bis 2004) bzw. keine gemessenen (nach 2004) geophysikalischen Dichtelogs vor. Dementsprechend erfolgt die Umrechnung der gemessenen Abstich- bzw. Standrohrspiegelhöhen in eine Süßwasserdruckspiegelhöhe anhand der in den Jahren 1988 bis 2001 gemessenen vertikalen Dichteprofile, die im Einzelfall um Dichtewerte abgeschätzt aus den Leitfähigkeitsprofilen der Wassersäule bzw. aus Dichtemessungen einzelner Wasserproben abgeschätzt wurden. Somit werden Veränderungen der vertikalen Dichteverteilung in der Wassersäule der Messstellen nach 2001 nicht erfasst.

11.1.2 Visuelle Analyse

Die visuelle Analyse der Grundwasserganglinien ergibt zumeist eine deutliche Korrelation mit dem saisonalen und mehrjährigen Niederschlagsregime am Standort Asse. In mehreren, v.a. oberflächennahen Messstellen ist zudem der Einfluss einzelner Niederschlagsereignisse festzustellen.

Hervorzuheben sind deutliche saisonale Schwankungen in mehreren tiefen Messstellen (z.B. in GWM R6), die keine oder eine sehr geringe Phasenverschiebung im Vergleich zu den Grundwasserganglinien in benachbarten und in der gleichen hydrostratigraphischen Einheit verfilterten oberflächennahen Messstellen, aufweisen. Hierbei ist bei der GWM R6 auch eine auffallend niedrige Süßwasserdruckspiegelhöhe festzustellen (ca. 50 m u. GOK).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 379 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die visuelle Analyse der Grundwasserganglinien führt zu der Schlussfolgerung, dass die Bandbreiten der saisonalen und mehrjährigen Schwankungen im Zeitraum 2002 bis 2011 zumeist vergleichbar mit jenen der Messungen im vorangehenden Zeitraum sind. Signifikante längerfristige Trends wurden nur für die folgenden GWM beobachtet:

- Langfristiger Abfall der Süßwasserdruckspiegelhöhe in GWM R5 (*mu*) und H17 (Subrosionsgerinne am Salzspiegel)
- Langfristiger Anstieg der Süßwasserdruckspiegelhöhe in GWM R7 (*mu*)

Weiterhin zeigt etwa die Hälfte der GWM visuell eine Reaktion der Grundwasserganglinie auf Luftdruckschwankungen; in drei GWM deuten die Ganglinien zudem visuell einen möglichen Einfluss von Gezeitenkräften an. Für die tiefen GWM R5 und R7 wurden keine sichtbaren Einflüsse der genannten Faktoren (Niederschlagsregime, Luftdruck, Gezeitenkräfte) beobachtet.

Hervorzuheben sind zudem zwei prominente Wasserspiegelabfälle, die am 16. Februar 2002 und am 19. Januar 2011 in Schacht Asse 1 beobachtet wurden und jeweils mit praktisch zeitgleichen Anstiegen in GWM H17 und H9 korrelieren. Ein prominenter Wasserspiegelanstieg wurde zudem im Jahreswechsel 2002/2003 in Schacht Asse 3 beobachtet. Die Ursachen für diese schnellen Wasserspiegelabfälle bzw. -anstiege sind zurzeit nicht bekannt.

11.1.3 Vertiefte Zeitreihenanalyse

Für eine vertiefte Zeitreihenanalyse wurden die Grundwasserganglinien mittels Trend- und Fourieranalyse in die folgenden, als voneinander unabhängig angenommenen Komponenten zerlegt: (i) langfristiger Trend, (ii) jahresperiodische Anteile und (iii) stochastische Anteile. Diese Analyse wurde beispielhaft für eine flache und eine tiefe GWM (P16 resp. R7; jeweils im *mu* verfiltert) für die 10-Jahresperiode vom 01.11.2001 bis zum 31.10.2011 durchgeführt. Die gefundenen langfristigen Trends bestätigen weitestgehend die bereits visuell identifizierten. Die Autokorrelationsanalyse ergibt, dass der stochastische Anteil der Grundwasserganglinien nur bis zu einem Zeitversatz von mehreren Monaten eine statistisch signifikante Autokorrelation zeigt. Die berechneten Kreuzkorrelationen des stochastischen Anteils der Grundwasserganglinien mit dem Niederschlag und dem Luftdruck ergeben – entgegen den Ergebnissen der visuellen Analyse – entweder keine statistisch signifikanten Ergebnisse oder statistisch signifikante Werte, die aber im Hinblick auf bekannte Ursache-/ Wirkungsbeziehungen nicht plausibel sind. Die Analyse der Kreuzkorrelationen mit Ganglinien benachbarter GWM zeigt statistisch signifikante und plausible Ergebnisse.

Die Kreuzkorrelation zwischen kurzzeitigen Reaktionen des Grundwasserspiegels auf Luftdruckschwankungen, d.h. die sogenannte barometric response function, wurde mittels eines Algorithmus aus der Literatur für eine zweimonatige Zeitreihe rechnergestützt analysiert. Insgesamt zeigen sich für die vier beispielhaft betrachteten GWM atypische Verläufe. Diese sind – mit dem momentanen Wissensstand – nicht plausibel mit den geologisch-hydrogeologischen und ausbautechnischen Gegebenheiten der Grundwassermessstellen am jeweiligen Standort zu erklären.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 380 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

11.1.4 Fazit und Bewertung

Die Messstellen des hydrogeologischen Messnetzes weisen bezüglich des erfassten Gebiets des Asse-Höhenzuges sowie hinsichtlich der erschlossenen geologischen Formationen und deren Tiefenlage eine sehr unregelmäßige Abdeckung auf. Der Messstellenausbau entspricht nicht mehr dem Stand von Wissenschaft und Technik und der momentane Zustand des Ausbaus ist weitestgehend unklar. Die Erfassung der Standrohrspiegelhöhe mittels Abstichen und zwei Druckaufnehmern (Redundanz) ist nach Ansicht der Autoren zuverlässig und es ergeben sich zumeist sehr geringe Ausfallzeiten bzw. Abweichungen der jeweiligen Grundwasserganglinien voneinander.

Aufgrund der ausbautechnischen Gegebenheiten, des unbekanntem baulichen Zustands und der Umrechnung der gemessenen Standrohrspiegelhöhen in eine Süßwasserdruckspiegelhöhe auf Basis von früher gemessenen vertikalen Dichteprofilen (gemessen vor 2002), kann die Belastbarkeit der gewonnenen Süßwasserdruckspiegelhöhen nur unter Berücksichtigung der Ergebnisse eines Messstellenfunktionstests (inkl. Dichtemessungen) bewertet werden. Dies gilt auch für die weiterführende Interpretation der Ganglinien, u.a. im Hinblick auf die vertiefte hydrogeologische Charakterisierung des Asse-Deckgebirges.

11.2 METEOROLOGISCHE DATEN UND ABFLUSSMESSUNGEN

11.2.1 Datengrundlage, Messstellen und Messmethodik

Am Standort werden die folgenden meteorologischen Daten erhoben: Temperatur, Niederschlagssumme, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Taupunkt sowie Windgeschwindigkeit und -richtung. Die Messung dieser Daten erfolgt an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 in etwa einem Meter über Grund (Höhenlage: 192 mNN), nur die Windgeschwindigkeit und -richtung wird in 42 Meter über Grund gemessen. Die Messwerte werden dabei kontinuierlich erfasst und alle 10 Minuten abgespeichert. Grundlage für die Darstellung und erste Analyse der meteorologischen Daten im vorliegenden Bericht bilden die Messungen für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011.

Abflussmessungen für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 liegen wie folgt vor: (i) Kontinuierliche Abflussmessung an der Altenau am amtlichen Pegel Wendessen des NLWKN (d.h. ohne den Zufluss des Rothebachs, der einen Großteil des Abfluss der SW-Flanke der Asse fasst), (ii) vier Stichtags-Abflussmessungen an Quellen und Vorflutern in der Schöppenstedter und in der Remlinger Mulde aus den Jahren 2003 und 2004 und (iii) tägliche Messung der gefassten Zutrittslösung in die Südflanke des Grubengebäude der Schachanlage Asse II, die im Kontext des vorliegenden Berichtes als Grundwasserabfluss aus dem Deckgebirge betrachtet wird..



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 381 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

11.2.2 Analyse der meteorologischen Daten

Der Mittelwert der jährlichen Niederschlagssummen 2002 bis 2011 liegt bei 656 mm/a (Wert nicht um systematische Messfehler des Regenmessers korrigiert); die mittlere Jahrestemperatur betrug im gleichen Zeitraum 9,5 °C.

In Bezug auf das saisonale Regime zeigen sich zwei Niederschlagsmaxima (Juni-September und November-Januar) und zwei Niederschlagsminima (Februar-April und Oktober). Während der Periode 2002 bis 2011 verliefen vier Jahre mit unterdurchschnittlicher und drei Jahre mit überdurchschnittlicher jährlicher Niederschlagssumme; der betrachtete Zeitraum deckt damit eine breite Variation der jährlichen Niederschlagssumme ab.

11.2.3 Repräsentanz der meteorologischen Daten

Nach einer Repräsentanzprüfung durch den DWD sind die abschattenden Einflüsse im Bereich der meteorologischen Station gering ausgeprägt, so dass die gewonnenen meteorologischen Daten, d.h. Temperatur, Niederschlag, Windgeschwindigkeit und -richtung, im Vergleich zu den umliegenden DWD-Stationen Wittmar, Wolfenbüttel und Braunschweig als ausreichend repräsentativ für den Standort Asse anzusehen sind.

Weiterhin wurde durch den DWD die Höhe des systematischen Messfehlers bei der Messung der Niederschlagssummen untersucht (z.B. bedingt durch Windverwirbelungen und Verdunstung im Regenmesser). Es ergaben sich – je nach betrachteter Zeitreihe – um ca. 12 % bis 19 % höhere Werte nach Korrektur im Vergleich zu den nichtkorrigierten Daten. Daraus lässt sich für den Zeitraum 2002 bis 2011 eine mittlere jährliche Niederschlagssumme (nach Korrektur) im Bereich von ca. 735 mm/a bis 780 mm/a am Standort Asse ableiten.

11.2.4 Analyse der Abflussdaten

Die Abflussdaten der Altenau am Pegel Wendessen ergeben für den Zeitraum 2002 bis 2011 einen Mittelwert von 0,61 m³/s, entsprechend einem Anteil der jährlichen Niederschlagshöhe von 164 mm für das Einzugsgebiet der Altenau von 118 km² am Ort des Pegels.

11.2.5 Fazit und Bewertung

Die meteorologische Station bei Schacht Asse 2 liefert nach DWD-Angaben für den Standort Asse ausreichend repräsentative klimatische Daten. Um aus den Messdaten für den Niederschlag belastbare Datenreihen für Wasserhaushaltsmodelle und -bilanzierungen abzuleiten, ist die vorgängige Korrektur um messtechnische Fehler erforderlich.

Abflussmessungen in Form von Zeitreihen liegen lediglich für den Pegel Wendessen (jedoch ohne den Zufluss aus der Südwest-Flanke) sowie für den (gefassten) Zufluss in das Grubengebäude der Schachanlage Asse II vor; die durchgeführten Stichtags-Abflussmessungen haben nur eine sehr begrenzte Aussagekraft. Die Abflüsse der Quellen in der Südwest-Flanke (z.B. der Salzquellen bei

				Sachstandsbericht Hydrogeologie			
Bundesamt für Strahlenschutz							
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 382 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Groß Denkte) und in der Nordost-Flanke (z.B. der Quelle M2 in der Diagonalstörung bei Groß Vahlberg) sowie von weiteren Vorflutern (z.B. dem Rothebach) im Bereich des Asse-Höhenzuges werden somit nicht erfasst. Dies ist als nennenswertes Defizit einzustufen.

11.3 GRUNDWASSERNEUBILDUNG

11.3.1 Datengrundlage

Für den Standort Asse liegen nur Daten zur GW-Neubildung aus indirekten Verfahren vor. D.h. die Ermittlung der GW-Neubildungsraten erfolgte auf Basis von Abflussmessungen oder auf Basis von Niederschlagsdaten und abgeleiteten Evaporations-Abfluss-Daten (z.B. dem GROWA-Modell). Abhängig vom Verfahren sind die resultierenden GW-Neubildungsraten mehr oder weniger räumlich differenziert. Direkte Verfahren zur Ermittlung der GW-Neubildung (z.B. mittels Lysimetern) kommen am Standort Asse nicht zum Einsatz.

11.3.2 Grundwasserneubildung nach [GSF 1994] und [Stein 1999]

Die durch [GSF 1994] ermittelte GW-Neubildungsrate basiert auf Abflussmessungen und Bilanzierung mittels Niederschlagsdaten und potentieller Evapotranspiration für zwei bis vier hydrologische Jahre. Daraus wurden gemittelte GW-Neubildungsraten für drei Einzugsgebiete in der Südwest-Flanke der Asse und für ein Einzugsgebiet in der Nordost-Flanke abgeleitet. Diese vier Einzugsgebiete besitzen jeweils eine Fläche zwischen 1 km² bis 2 km².

Durch [Stein 1999] wurde mittels sechs verschiedener Verfahren (u.a. durch die Trockenwetterabflüsse und die mittleren monatlichen Niedrigwasserabflüsse) die jeweilig gemittelte GW-Neubildungsrate für die vorgenannten vier Einzugsgebiete des Asse-Höhenzuges bestimmt. Grundlage bilden ebenfalls Abflussmessungen aus zwei bis vier hydrologischen Jahren.

11.3.3 Grundwasserneubildungsrate nach GROWA06v2

Durch das GROWA-Modell, hier in der Version GROWA06v2 ausgewertet, ergibt sich die GW-Neubildungsrate am Standort Asse als Restglied aus der Differenz von Niederschlag, realer Evapotranspiration und oberirdischem Abfluss mit einer Auflösung von 50 m x 50 m. Das GROWA-Modell berücksichtigt zur Abtrennung des oberirdischen vom unterirdischen Abfluss i.W. die hydrogeologische Gesteinseinheit, dazu untergeordnet Hangneigung, Flurabstand und Bewuchs (Wald pauschal als Nadelwald). Weiteren Faktoren wie z.B. die Infiltration in Störungszonen bzw. in verkarsteten Bereichen wird im GROWA-Modell nicht Rechnung getragen. Das GROWA-Modell wurde prinzipiell für großflächige Einzugsgebiete (>100 km²) entwickelt und evaluiert. Lokal ergeben sich für Festgesteins-Einzugsgebiete große Abweichungen der GW-Neubildung im Vergleich zu Messungen auf Basis von Pegeldaten.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 383 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

11.3.4 Fazit und Bewertung

Die durch [GSF 1994] ermittelte GW-Neubildungsrate für den Standort Asse ist nach Ansicht der Autoren nicht belastbar, da u.a. die dort angewendete Methode zur Ermittlung der potentiellen Evapotranspiration mit großen Ungenauigkeiten behaftet ist. Die mittels des GROWA-Modells bestimmte GW-Neubildungsrate kann, insbesondere durch die geringe Größe der betrachteten Einzugsgebiete von wenigen Quadratkilometern und die lokalen hydrogeologischen Gegebenheiten am Standort Asse, große Fehler aufweisen und wird deshalb von den Autoren für das Erstellen von Grundwasserbilanzen am Standort Asse ebenfalls als nicht belastbar eingestuft.

Insgesamt stellen die durch [Stein 1999] bestimmten GW-Neubildungsraten nach Ansicht der Autoren die für den Standort belastbarsten Daten dar, denn die komplexen hydrologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten des Asse-Höhenzuges werden durch die angewendeten Methoden (i.W. basierend auf Trocken-wetterabflüssen und den mittleren monatlichen Niedrigwasserabflüsse) weitestgehend integrativ berücksichtigt. Es ergeben sich nach [Stein 1999] Werte von ca. 80 mm/a bis 90 mm/a für die drei Einzugsgebiete in der Südwest-Flanke der Asse und von ca. 100 mm/a für das Einzugsgebiet in der Nordost-Flanke. Wesentliche Unsicherheiten in den Ergebnissen von [Stein 1999] verursachen die verhältnismäßig kurzen Beobachtungszeiträume (nur wenige Jahre, wobei sowohl unter- als auch überdurchschnittlich niederschlagsreiche Jahre im betrachteten Zeitraum enthalten sind) und die Ausweisung der Einzugsgebietsgrenzen im komplexen Deckgebirge der Asse-Struktur.

11.4 GRUNDWASSEROBERFLÄCHE

11.4.1 Datengrundlage

Eine Auswertung und Darstellung der Grundwasseroberfläche des Asse-Höhenzuges wird von [Schönfeld 1986], [GSF 2001], [Colenco 2006] und [AF-Colenco 2009] gegeben.

11.4.2 Grundwassergleichenpläne von [Schönfeld 1986] und [GSF 2001]

Der Grundwassergleichenplan von [Schönfeld 1986] beruht auf einer Stichtagsmessung im Jahr 1983, während sich der Plan von [GSF 2001] auf eine Stichtagsmessung vom Oktober 1989 stützt. In beiden Grundwassergleichenplänen folgt die Grundwasseroberfläche i.W. der Morphologie. Die Abfolge von GW-Leitern/-Geringleitern und die strukturgeologischen Verhältnisse des Asse-Deckgebirges werden nicht berücksichtigt. Zudem werden bei [GSF 2001] auch Messungen in den tiefen R-Messstellen zur Konstruktion der Grundwassergleichen einbezogen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 384 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

11.4.3 Grundwassergleichenpläne von [Colenco 2006]

Der Grundwassergleichenplan [Colenco 2006] basiert auf Stichtagsmessungen in den Messstellen (exklusive den tiefen R-Messstellen und der GWM H17 am Salzspiegel) von August 1986 und Oktober 1987. Zudem wurde die Höhenlage von Quellen und Vorflutern berücksichtigt und der Abfolge der GW-Leiter/GW-Geringleiter sowie den strukturgeologischen Verhältnissen des Asse-Deckgebirges (inklusive größerer Störungszonen) Rechnung getragen. Die e und sind sehr ähnlich, Der Grundwassergleichenplan in [AF-Colenco 2009] unterscheiden sich von dem entsprechenden Plan in [Colenco 2006] lediglich durch die Berücksichtigung von oberflächlich aufgelockerten Bereichen in ausstreichenden Geringleitern.

Der Vergleich der Standrohrspiegelhöhen von September 2011 in den nach dem Rückbau verbliebenen Messstellen mit den jeweiligen Werten, die dem Grundwassergleichenplan in [Colenco 2006] zugrunde liegen, ergibt – vorbehaltlich der Überprüfung der Messstellen durch Messstellenfunktionstests und Dichtemessungen – eine relativ gute Übereinstimmung mit Differenzen, die zu meist deutlich geringer sind als die Bandbreite der saisonalen Grundwasserspiegelschwankungen. Anpassungen des Grundwassergleichenplans sind somit i.W. im Gebiet der Klein Vahlberger Buchen, in dem durch die GWM PN1 und PN2 (jeweils für den Flachpegel) sowie durch die Erkundungsbohrung R15 erstmals Stützstellen zur Grundwasseroberfläche vorliegen, notwendig. Bei Berücksichtigung dieser Messstellen ergibt sich, im Vergleich zum Grundwassergleichenplan in [Colenco 2006], u.a. ein geringfügig steilerer Grundwassergradient im Gebiet unmittelbar südöstlich von Schacht Asse 2 sowie eine deutlich tiefer liegende Höhenlage der Grundwasseroberfläche mit geringeren Gradienten im Gebiet der Klein Vahlberger Buchen.

11.4.4 Fazit und Bewertung

Die Grundwassergleichenpläne von [Schönfeld 1983] und [GSF 2001] werden angesichts der komplexen hydrogeologischen Situation des Asse-Deckgebirges und der Einbeziehung von Tiefenpotentialen als nicht belastbar erachtet. Der Grundwassergleichenplan von [Colenco 2006] bzw. [AF-Colenco 2009] stellt – nach entsprechenden lokalen Anpassungen und Überprüfung der Messstellen – nach Ansicht der Autoren die belastbarste Darstellung der Grundwasseroberfläche dar.

11.5 GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT

11.5.1 Datengrundlage, Probennahme und Analytik

Die Datengrundlage zur hydrochemischen Beschaffenheit sowie des Gehalts an gelösten Gasen umfasst Grundwasseranalysen der hydrologischen Jahre 2002 bis 2011 aus den unter Punkt „11.1.1 Grundwasserganglinien“ genannten 25 Messstellen sowie aus 10 Quell- und Vorfluter-Messstellen (M-Messstellen), darunter zwei Salzquellen sowie die Vorfluter Ammerbeek und Rothebach.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 385 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die Messstellen werden insgesamt zumeist in jährlichen Intervallen beprobt. In den Grundwassermessstellen erfolgt die Beprobung i.d.R. im Bereich der jeweiligen Filterstrecke und – aufgrund der überwiegend geringen hydraulischen Durchlässigkeit und des z.T. tiefen Messstellenausbaus – mittels eines Schöpfapparates. Dabei wird das Standwasser vor der Probennahme nicht abgepumpt. Bei den M-Messstellen wird das gewonnene Quell- bzw. Oberflächenwasser direkte in die Probennahmegefäße abgefüllt.

Bei der Probennahme werden vor Ort die Feldparameter, elektrische Leitfähigkeit, Redoxpotential, pH-Wert und O₂-Gehalt bestimmt. Bei der Analyse der Proben durch das Labor K-UTEC Salt Technologies in Sondershausen werden dann die Haupt-, Begleit- und Spurenstoffkonzentrationen (Spurenstoffe in größerem Umfang nur während der Probennahmekampagne 2010/11) sowie die Dichte, der Gehalt an gelösten Stoffen („TDS“) und der Gehalt an gelösten organischem Kohlenstoff („DOC“) analysiert bzw. gemessen. Dabei erfolgte von Seiten des Labors keine Plausibilitätskontrolle der Analysendatensätze mittels einer Ionenladungsbilanzierung.

11.5.2 Plausibilitätsprüfung der Analysendaten

Vorgängig der Auswertung der Analysendatensätze wurden diese Plausibilitätskontrollen unterworfen (u.a. mittels einer Ionenladungsbilanzierung). Insgesamt liegen auf Basis der Ionenbilanzen für den Zeitraum 2002 bis 2011 für alle außer zwei Messstellen auswertbare hydrochemische Analyseergebnisse vor.

Hervorzuheben ist, dass die gemessenen O₂-Gehalte für die meisten Grundwassermessstellen keine plausiblen Werte ergeben, während die Werte für die M-Messstellen plausibel sind. Dies ist möglicherweise die Folge der Äquilibration mit Luftsauerstoff im Standwasser der betroffenen Grundwassermessstellen bzw. der Probennahmetechnik (Schöpfapparat). Bedingt dadurch sind Aussagen zum O₂-Gehalt sowie zum Redoxpotential bei den Grundwassermessstellen nicht belastbar. Aus dem gleichen Grund können auch die Konzentrationen von redoxsensitiven Begleitstoffen (i.W. Eisen, Nitrat) verändert werden, die Auswirkungen auf den Gehalt an gelösten Stoffen und die hydrochemische Zusammensetzungen (bzw. auf die Typisierung) der Grundwässer stufen die Autoren dieses Berichts jedoch als sehr gering ein.

11.5.3 Auswertung der Grundwasserbeschaffenheit

Anhand des Gehaltes an gelösten Stoffen und der Verteilung der Hauptinhaltsstoffe lassen sich die Grundwässer des Asse-Deckgebirges in Grundwässer mit geringer Mineralisierung (Süß- bzw. Brackwasser) und variabler Typisierung (z.B. Ca-HCO₃-Wässer, Ca-SO₄-Wässer, Mg-Ca-Cl-Wässer) sowie in hoch bis sehr hoch mineralisierte Grundwässer (Salzwasser bzw. Sole) vom Na-Cl-Typus einstufen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 386 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Wässer mit geringer Mineralisierung und variabler Typisierung treten zum einen in Messstellen auf, die Gesteine des Unteren Buntsandstein, des Unteren Muschelkalk (nur in Tiefen bis max. ca. 230 m u. GOK), des Mittleren Keuper und des Unteren Jura erschließen. Zum anderen werden sie in der Messstelle H17 (Subrosionsgerinne am Salzspiegel) sowie an den Oberflächengewässern (Rothebach und Ammerbeek) beobachtet.

Hochmineralisierte Wässer vom Na-Cl-Typus treten in Messstellen auf, die Gesteine des residualen Zechstein, des Oberen Buntsandstein, des Mittleren Muschelkalk, des Unteren Muschelkalk (dieser nur in Tiefen >470 m u. GOK) sowie des Mittleren Keuper (nur >50 m u. GOK) erschließen. Weiterhin sind hochmineralisierte Na-Cl-Wässer charakteristisch für die Wässer der Salzquellen.

Anhand der Haupt-, Begleit- und Spurenstoffkonzentrationen sind für die betrachteten Grundwasser- und M-Messstellen keine signifikanten Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit im Zeitraum 2002 bis 2011 festzustellen.

Insgesamt liegen die analysierten Begleit- und Spurenstoffe zumeist im Bereich der geogenen Hintergrundkonzentrationen bzw. Nachweisgrenzen der jeweiligen Stoffe. Signifikant erhöhte Konzentrationen von ausgewählten Begleit- und Spurenstoffen, z.B. Nitrat, Bor oder DOC, geben in Kombination Hinweise auf lokale anthropogene Einflüsse (Düngemittel) für die GWM H5 und H6. Weiterhin zeigen die in den hochmineralisierten Wässern gefundenen hohen Cl/Br-Verhältnisse, dass Lösung von Steinsalz die wesentliche Quelle der Mineralisierung ist, während eindeutige Einflüsse von Kalisalzen in diesen Wässern nicht nachweisbar sind.

11.5.4 Fazit und Bewertung

Unter Berücksichtigung der genannten Einschränkungen zur Repräsentativität der gemessenen Sauerstoffgehalte und lokaler anthropogener Einflüsse, liegen für einen Großteil der Grundwassermessstellen belastbare Analyseergebnisse zur Grundwasserbeschaffenheit vor, die prinzipiell eine Typisierung der Grundwässer erlauben.

Weiterführende Aussagen zur Repräsentativität der hydrochemischen Daten und ihrer Interpretation (z.B. hinsichtlich der Genese) für die jeweils erschlossenen hydrostratigraphischen Einheiten sind jedoch erst nach Vorliegen der Ergebnisse der Messstellenfunktionstests (inkl. einer Prüfung der geologisch-stratigraphischen Annahmen zu den durch die jeweilige Filterstrecke erschlossenen hydrostratigraphischen Einheiten) möglich.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Sachstandsbericht Hydrogeologie			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 387 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

11.6 GRUNDWASSERVERWEILZEITEN/-FLIESSPFADE

11.6.1 Datengrundlage, Probennahme und Analytik

Die Datengrundlage zur Bestimmung der Grundwasserverweilzeit sind isotopechemische Analysen an den während der Probennahmekampagnen der Jahre 2010/11 sowie 2012 genommenen Wasserproben. Dabei wurden 25 Messstellen sowie 10 M-Messstellen beprobt und analysiert.

Die massenspektrometrische Analyse der Isotopengehalte wurde in folgenden Laboren durchgeführt:

- die Tritium-Helium-Analytik im Labor *helis* („Helium Isotope Studies“) des Fachbereichs 1 der Universität Bremen
- die Analytik der Kohlenstoffisotope im Leibniz Labor für Altersbestimmung und Isotopenforschung der Christian-Albrechts-Universität Kiel
- die Analyse der Wasserisotope im Labor für Stabile Isotope (LSI) Halle am Umweltforschungszentrum (UFZ) Leipzig
- die Sr-Isotope im Labor des Geowissenschaftlichen Zentrums der Universität Göttingen

Insgesamt liegt für den überwiegenden Teil der GWM und M-Messstellen jeweils ein Analysendatensatz für die vier betrachteten Isotopensysteme vor. Die Ergebnisse der Isotopenanalysen sind somit i.W. für die Verhältnisse während des Zeitraums der jeweiligen Probennahmekampagne – bei denen zumeist während der späten Frühjahrs- und der Sommermonate beprobt wurde – charakteristisch.

11.6.2 Tritium- und Heliumisotope

Mit der ^3H - $^3\text{He}_{\text{tri}}$ -Datierung lassen sich prinzipiell Grundwässer unterscheiden die vor bzw. nach 1950 infiltriert sind, dabei kann für Wässer, die nach 1950 infiltriert sind i.d.R. ein Infiltrationsjahr angegeben werden. Zudem ist es mittels der He-Analytik möglich Verweilzeiten sehr alter Wässer abzuschätzen.

^3H konnte in allen Grundwasserproben des Asse-Höhenzuges nachgewiesen werden. Der überwiegende Teil der Wässer weist ^3H -Gehalte zwischen ca. 3 TU und ca. 8 TU auf.

Anhand der ^3H - $^3\text{He}_{\text{tri}}$ -Daten lassen sich die Grundwässer der Asse in drei Kategorien einteilen:

Kategorie 1: Grundwässer mit einer geringen, aber signifikanten ^3H -Konzentration von weniger als 1 TU, die zu einem überwiegenden Teil vor den 1950er-Jahren infiltriert sind und nur eine geringe Zumischung (bis max. ca. 10 %) von jüngerem, ^3H -haltigem Wasser aufweisen. Grundwässer dieser Kategorie wurden nur in den tiefen R-Bohrungen und in sehr wenigen GWM gefunden. Für die tiefen R-Bohrungen zeigen die hohen $^4\text{He}_{\text{rad}}$ -Gehalte zudem ein hohes Alter von möglicherweise 10^3 bis 10^8 Jahren an.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 388 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Kategorie 2: Grundwässer mit ^3H -Gehalten im Bereich von $>1,5$ TU bis <6 TU, die durch eine Mischung von ^3H -freien, vor den 1950er-Jahren infiltrierten Wässern mit jüngeren Grundwässern (Anteil ca. 10 % bis max. 70 %) entstanden sind.

Kategorie 3: Grundwässer mit ^3H -Gehalten zwischen ca. 6 TU und 11 TU, die einen dominierenden Anteil junger, nach 1950 infiltrierten Wässer aufweisen (Anteil >70 %) und bei denen somit nur eine geringe Zumischung älterer Wässer nachweisbar ist.

Das Infiltrationsalter der jeweiligen nach 1950 infiltrierten jungen Wasserkomponente für Wässer der Kategorie 2 und 3 liegt (unter der Annahme rein advektiven Transports im GW-Leiter) bis auf eine Ausnahme (14 Jahre) bei weniger als 10 Jahren.

Für die an der Zutrittsstelle L658008 auf der 658-m-Sohle in der Südflanke des Asse-Grubengebäudes gefassten Zutrittslösung liefert die ^3H - ^3He -Isotopie (Einzelprobe aus dem Jahr 2011) aufgrund der Beeinflussung durch die – gegenüber der atmosphärischen Luft – erhöhten ^3H -Gehalte der Grubenwetter keine aussagekräftigen Daten.

Hervorzuheben sind insgesamt die in vielen Proben gemessenen hohen Gasverluste bzw. Gasüberschüsse die möglicherweise auf eine Störung der ursprünglichen Verhältnisse im GW-Leiter (Probennahme) und/oder auf natürliche Variationen der Randbedingungen (z.B. GW-Spiegelschwankungen) zurückzuführen sind.

11.6.3 Kohlenstoffisotope

Ein Großteil der Wässer aus dem Deckgebirge der Asse weist ^{14}C -Aktivitäten und $\delta^{13}\text{C}$ -Werte auf, die auf einen CO_2 -Austausch mit der Bodenluft, auf die Lösung fossiler Karbonate sowie möglicherweise auf einen Austausch mit atmosphärischem CO_2 in einem offen hydrogeologischen System als dominierende, das DIC beeinflussende hydrochemische Prozesse hinweisen. Höchstwahrscheinlich ist zudem ein – nicht quantifizierbarer – Einfluss von „Bomben- ^{14}C “ vorhanden.

In mehreren Grundwässern wurden extrem hohe ^{14}C -Aktivitäten zwischen ca. 160 pMC bis hin zu max. 860 pMC gemessen, für die es momentan keine plausible Erklärung gibt. Eine Wiederholung der Beprobung und Analyse ist geplant. Die ^{14}C -Aktivität der gefassten Zutrittslösung (Einzelprobe aus dem Jahr 2011 an der Zutrittsstelle L650008) liefert aufgrund der Beeinflussung durch die – gegenüber der atmosphärischen Luft – erhöhten ^{14}C -Gehalte der Grubenwetter keine aussagekräftigen Daten. Der ungewöhnlich hohe $\delta^{13}\text{C}$ -Wert der gefassten Zutrittslösung ($-1,8$ ‰ V-SMOW) weist auf Austauschprozesse der Kohlenstoffspezies mit fossilen Karbonatgesteinen oder atmosphärischem CO_2 hin.

Nur vier beprobte Grundwässer weisen aufgrund der gemessenen ^{14}C -Aktivitäten und $\delta^{13}\text{C}$ -Werte Hinweise auf einen ^{14}C -Zerfall auf. Für diese vier Proben wurden ^{14}C -Modellalter mit der Software NETPATH berechnet. Es ergeben sich für zwei Grundwässer (aus dem Unteren Jura) ^{14}C -Modellalter von rund 3100 bis 3800 Jahren. Für die zwei Grundwässer aus dem Unteren Muschelkalk (GWM PN2) errechnen sich ^{14}C -Modellalter zwischen 1500 bis 3100 Jahren (Flachpegel) bzw. zwischen 1300 bis 1500 Jahren (Tiefpegel), die angesichts der Tiefenlage nicht plausibel scheinen und möglicherweise auf Bohrspülungsreste bzw. vertauschte Proben zurückzuführen sind.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 389 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

11.6.4 Wasserisotope

Der überwiegende Teil der Grundwässer aus den GWM und M-Messstellen des Asse-Höhenzuges weist $\delta^2\text{H}$ -Werte im Bereich zwischen ca. -60 bis -55 ‰ V-SMOW und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Bereich von ca. -9 bis -8,2 ‰ V-SMOW auf die jeweils auf oder sehr nahe an der GWML liegen. Insgesamt ist dieser Wertebereich indikativ für eine Abstammung der Wässer von post-eiszeitlichen Niederschlägen.

Die in den Wässern einiger weniger GWM gemessenen, gegenüber den vorgenannten Proben deutlich an $\delta^{18}\text{O}$ -Werte abgereicherten Werten können plausibel durch intensive Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen (bei niedrigen Temperaturen) post-eiszeitlicher Grundwässer erklärt werden.

Die $\delta^2\text{H}$ -Werte um -34 ‰ und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte um -2,5 ‰ V-SMOW der Proben aus den tiefen R-Messstellen (R5 und R7; jeweils im *mu* verfiltert) weichen deutlich von den übrigen Proben des Asse-Grundwassers ab und sind auch nicht mit der Isotopenzusammensetzung moderner oder eiszeitlicher Niederschlagswässer in Verbindung zu bringen. Die Wasserisotopenwerte dieser Messstellen sind plausibel mittels starker Evaporation von Meerwasser zu erklären, d.h. es handelt sich um fossile Grundwässer und damit stützen sie die o.g. Interpretation der hohen $^4\text{He}_{\text{rad}}$ -Gehalte. Es ist aber wahrscheinlich, dass bei der Genese dieser tiefen Grundwässer, weitere Prozesse, wie z.B. Membran-Filtrierung und/oder Freisetzung von Kristallwasser, involviert sind.

Die $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Werte des an der Zutrittsstelle L658008 auf der 658-m-Sohle in der Südflanke des Asse-Grubengebäudes gefassten Hauptlösungsfluss sind gegenüber den übrigen Grundwässern des Asse-Deckgebirges, die auf oder nahe an der Isotopenzusammensetzung moderner Niederschläge liegen, an ^{18}O angereichert. Diese Anreicherung kann unter Annahme einer Abstammung von post-eiszeitlichen meteorischen Wässern auf Evaporation entlang des Fließpfades im Grubengebäude hindeuten. Hinweise auf saisonale Schwankungen ergeben sich nicht.

11.6.5 Strontiumisotope

Die Grundwässer aus den GWM und M-Messstellen die den Muschelkalk, den Röt sowie den residualen Zechstein erschließen, weisen zumeist $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse auf, die vergleichbar sind mit der Sr-Isotopensignatur der jeweils durch die Messstellen erschlossenen Schichtfolgen und können somit Hinweise auf mögliche Fließpfade geben. Zu den Ausnahmen gehört z.B. die GWM H17, die Subrosionsgerinne am Salzspiegel erschließt und eine Sr-Isotopensignatur des Unteren Muschelkalk aufweist. Um anhand der Sr-Isotopie weitergehende belastbare Aussagen zu Mischungen von Grundwässern machen zu können, bestehen Defizite bei Sr-Isotopendaten einzelner Schichtfolgen des Asse-Deckgebirges (u.a. dem Unteren Buntsandstein, dem Oberen Muschelkalk) und bei den eluierbaren Sr-Gehalten der Schichtfolgen.

Die Sr-Isotopensignatur der Zutrittslösung der Jahre 2002 und 2003 an der Zutrittsstelle L658008 in der Schachanlage Asse II (658-m-Sohle, Südflanke) entspricht nahezu der des Rötanhydrit *so1A* bzw. des Rötalinars *so1Na*. Für den Zeitraum nach 2003 liegen keine Sr-Isotopendaten zum Lösungszutritt vor. Dies ist als nennenswertes Defizit einzustufen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 390 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

11.6.6 Fazit und Bewertung

Insgesamt liegen für einen Großteil der Grundwassermessstellen belastbare Analysenergebnisse zu den vier betrachteten Isotopensystemen (Tritium-Helium-, Kohlenstoff-, Wasser- und Sr-Isotopie) vor. Hervorzuheben sind die hohen bzw. überwiegenden Anteile junger, d.h. nach 1950 infiltrierter Wässer an den durch die GWM und Quellen erfassten Grundwässern des Asse-Deckgebirges. Nur wenige Messstellen weisen einen dominierenden Anteil „alter“ Wässer auf, d.h. Wässer mit einer Verweilzeit von möglicherweise mehreren tausend Jahren. Darunter sind die beiden tiefen R-Messstellen R5 und R7 (jeweils im *mu* verfiltert) sowie die GWM H7 und H9 (jeweils im *ju* verfiltert).

Weiterführende Aussagen zur Repräsentativität der isotochemischen Daten und ihrer Interpretation (z.B. hinsichtlich der Genese) für die jeweils erschlossenen hydrostratigraphischen Einheiten sind jedoch erst nach Vorliegen der Ergebnisse der Messstellenfunktionstests möglich.

11.7 SONDERERKUNDUNGSPROGRAMME

11.7.1 Datengrundlage

Die Sondererkundungsprogramme im Zeitraum 2002 bis 2011 umfassen (i) die Bestandsaufnahme der Quellen und der Oberflächengewässer des Asse-Höhenzuges und (ii) die Untersuchung von Grundwasserzuflüssen in der Altenau mittels Radon-222 als natürlichem Tracer.

11.7.2 Kartierung der Quell- und Oberflächengewässer des Asse-Höhenzuges

Die Bestandsaufnahme der Quellen und der Oberflächengewässer des Asse-Höhenzuges erfolgte in den Jahren 2010 und 2011. Es wurden dabei die Position, die Höhenlage und der Status (v.a. in Bezug auf Schüttung und Zustand) der Quellen und Oberflächengewässer verifiziert bzw. aufgenommen. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden zudem 11 neue Quellaufbrüche bzw. Drainagen gefunden.

11.7.3 Radon-222 als natürlicher Tracer für Grundwassereintritte in die Altenau

Potenzielle Grundwasserzuflüssen in der Altenau wurden in den Jahren 2010 und 2011 mittels Radon-222-, Wassertemperatur- und elektrischer Leitfähigkeitsmessungen im Abschnitt zwischen Groß Vahlberg und Wendessen untersucht.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 391 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Bei diesen Untersuchungen konnten in den folgenden acht Abschnitten potenzielle Grundwasserzuflüsse in die Altenau festgestellt werden:

- in vier Abschnitten zwischen Wendessen und Wendesser Mühle,
- in drei Abschnitten im Bereich des Kreuzberges und
- im Abschnitt zwischen Mönchevahlberg und Weferlingen.

11.7.4 Fazit und Bewertung

Die Bestandsaufnahme des seit den 1970er-Jahren bestehenden und zwischenzeitlich mehrfach erweiterten Quell- bzw. Oberflächenmessnetz des Asse-Höhenzuges hat – neben dem Auffinden neuer Grundwasseraustritte – für mehrere bestehende Messstellen geringfügige Veränderungen der Koordinaten sowie z.T. relevante Veränderungen der Höhe erbracht. Letzteres Ergebnis ist insbesondere von Bedeutung für diejenigen M-Messstellen, die zur Konstruktion der Grundwasseroberfläche verwendet werden (vgl. Kap. 7).

Der Ansatz Radon-222 in Verbindung mit Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit als natürlicher Tracer für Grundwasserzuflüsse in Oberflächengewässer erscheint vielversprechend und ausbaufähig, insbesondere da zur Wechselwirkung zwischen den Oberflächengewässern und dem Grundwasser des Asse-Höhenzuges nur wenige belastbare Informationen vorliegen.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 392 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

LITERATURVERZEICHNIS

- Adam, C., Glässler, W., Hölting, B., 2000: Hydrogeologisches Wörterbuch. – Enke Verlag, Stuttgart, 311 S.
- AF-Colenco, 2009: Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge der Schachanlage Asse II. – Poller, A., Resele, G., Bericht 1496/09, AF-Colenco Power Engineering AG, Baden, Schweiz, 203 S. Textband und Anlageband, 9A/24250000/MZS/TS/0001/00.
- AF-Colenco, 2010: WS 2044 – VerSi: Prozesse und Modellkonzepte Tonstein. – Resele, G., Holocher, J., Mayer, G., Niemeyer, M., AF-Colenco AG, Baden (Schweiz); Bericht 1313/04, Oktober 2010.
- Appel, D., 1971: Bericht über die geologische Neuaufnahme der Asse bei Wolfenbüttel (Ostniedersachsen) unter besonderer Berücksichtigung ihrer Quartärüberdeckung und der Tektonik der Südwest-Flanke. – Diplomarbeit TH Hannover und unveröffentlichter Bericht, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (NLfB), AZ. IV-1306/71, 129 S.
- Arbeitskreis Grundwasserneubildung der FH-DGG, 1977: Methoden zur Bestimmung der Grundwasserneubildungsrate – Geologisches Jahrbuch Reihe C 80, 98 S.
- Asse-GmbH, 2009: Bewertung der Salzlösungs- und Gaszutritte im Grubengebäude der Schachanlage Asse II. – Heydorn, M., Kraft, C., Stolzenberg, G., Siemann, M., Asse-GmbH, Remlingen, 143 S., 9A/64222100/HG/RB/0002/01.
- Asse-GmbH, 2014: Risswerk der Schachanlage Asse II.
- Bade, D.I., Carpenter, S.R., Cole, J.J., Hanson, P.C., Hesslein, R.H., 2004, Controls of $\delta^{13}\text{C}$ -DIC in lakes: Geochemistry, lake metabolism, and morphometry – Limnology and Oceanography, 49(4), 1160-1172.
- Baldschuhn, R., Frisch, U., Kockel, F., 1998: Der Salzkeil, ein strukturelles Requisite der saxonischen Tektonik. – Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft 149, 59-69.
- Barczewski, B., Grimm-Strehle, J., Bisch, G., 1993: Überprüfung der Eignung von Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen. – Zeitschrift Wasserwirtschaft 83, 72-78.
- Beinhauer, R., 1998: Flächenhafte potentielle Verdunstung nach Haude für Norddeutschland. – Meteorologische Rundschau 41, 24-31.
- Blume, H.-P., Brümmer, G.W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.-M., 2010: Scheffer/Schachtschabel – Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage, Springer Verlag 570 S.
- Boess, J., Gehrt, E., Müller, U., Ostmann, U., Sbresny, J., Steininger, A. (Hrsg.), 2004: Erläuterungsheft zur digitalen nutzungsdifferenzierten Bodenkundlichen Übersichtskarte 1:50 000 (BÜK50n) von Niedersachsen. – Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Arbeitshefte Boden, Heft 3, 61 S.
- Bultmann, E.-M., Ruprecht, J., Hansen, B.T., Kleinhans, I. 2008: Zur Herkunft der Sole der Saline Luisenhall (Göttingen) mittels Strontiumisotopie. – Neue Untersuchungen zur Geologie der Leinetalgrabenstruktur. Ed: Leiss, B., Tanner, D., Vollbrecht, A., Arp, G.; Universitätsdrucke Göttingen, 119-123.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 393 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- Capasso G., Inguaggiato S., 1998: A simple method for the determination of dissolved gases in natural waters. An application to thermal waters from Vulcano Island. – Applied Geochemistry 13, 631-642.
- Clark, I., Fritz, P. 1997: Environmental isotopes in hydrogeology. – CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, 328 S.
- Clarke, W.B., Jenkins, W.J., Top, Z. (1976): Determination of tritium by mass spectrometric measurement of ^3He . – International Journal of Applied Radiation and Isotopes 27, 515-522.
- Craig, H., 1961: Isotopic variations in meteoric waters. – Science 133 (3465), 1702-1703.
- Colenco, 2005: ASSE – Grundwassergleichenplan Stellungnahme Colenco zum Grundwassergleichenplan des NLFb. – Klemenz, W., Memorandum 3331/61, Colenco Power Engineering AG, Baden, Schweiz, 26 S.
- Colenco, 2006: Forschungsbergwerk Asse – Hydrogeologische Modellvorstellungen. – Klemenz, W., Lavanchy, J.M., Resele, G., Poller, A., Bericht 4956/07 Revision 3, Colenco Power Engineering AG, Baden, Schweiz, 257 S.
- Darling, W.G., Bath, A.H., Gibson, J.J., Rozanski, K., 2005: Isotopes in water. – In: Leng, M.J. (Ed.), Isotopes in Palaeoenvironmental Research, Volume 10 in Developments in Paleoenvironmental Research Series, Springer, Dordrecht, 66 S.
- Davis, S.N., Wittemore, D.O., Fabryka-Martin, J., 1988: Uses of chloride/bromide ratios in studies of potable water. – Ground Water 36, 338-350.
- Dörhöfer, G., Josopait, V., 1980: Eine Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate. – Geologisches Jahrbuch, Reihe C, 27, 45-65.
- Dörhöfer, G., Kunkel, R., Tetzlaff, B., Wendland, F., 2001: Der natürliche Grundwasserhaushalt in Niedersachsen. – Hannover (NLFb), Arbeitshefte Wasser 2001/1, 109-167.
- DVWK, 1994: Auswertung und Bewertung von Grundwasser-Untersuchungen. – DVWK Materialien, Heft 1, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Bonn, 70 S.
- DVWK, 1996: Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft. – DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 238, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Bonn, 134 S.
- DVWK, 1999: Methoden für die Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit. – DVWK Schriften, Heft 125, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Bonn, 100 S. und Anhängen.
- DWD, 1964: Klima-Atlas von Niedersachsen. – Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes (DWD), 77 Karten, 8 Diagramme, 38 S.
- DWD, 2001: Amtliche Gutachten zu (i) Klimatische Beurteilung für den Standort Asse, Juli 2000; (ii) Hydrometeorologische Bewertung der Niederschlags- und Verdunstungshöhen im Bereich des Bergwerkes Asse, März 2001; (iii) Ergänzungen zu (ii) von August 2001. Deutscher Wetterdienst (DWD).
- Eichinger, L., 1983: A contribution to the interpretation of ^{14}C groundwater ages considering the example of a partially confined sandstone aquifer. Radiocarbon 25(2), 347-356.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 394 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- Ercosplan, 2004: Zusammenfassung der geologischen Grundlagen für die Langzeitsicherheitsbewertung der Schachanlage Asse II. – Ercosplan Ingenieurgesellschaft mbH, Erfurt, EGB 03-003, 103 S.
- Faure, G., Mensing, D., 2005: Isotopes – Principles and applications. 3. Auflage, J. Wiley & Sons.
- Fontes, J.-Ch., Garnier, J.M., 1979: Determination of the initial activity of the total dissolved carbon. A review of existing models and a new approach. Water Resources Research 12, 399-413.
- Fontes, J.C., Matray, J.M., 1993: Geochemistry and origin of formation brines from the Paris Basin, France. 1. Brines associated with Triassic salts – Chemical Geology 109, 149-177.
- Frank, H., 1974: Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen an der Asse bei Wolfenbüttel. – Dissertation, Universität München und GSF-Bericht R87, Neuherberg, 208 S.
- Franzke, H.J., 2009: Geologisch-strukturelle Bewertung der an der Südflanke der Struktur Asse abgeteufte Erkundungsbohrungen PN1 bis PN3. – Bericht im Auftrag der Asse-Clausthal, 30. Mai 2009, 43 S.
- Freeze, R.A., Cherry, J.A., 1979: Groundwater. – Prentice-Hall, Eaglewood Cliffs, New Jersey, USA, 604 S.
- Gabriel, B., Ziegler, G., 1977: Zur Berechnung des Grundwasserdargebotes in triassischen Festgesteinen des Thüringer Beckens. – Zeitschrift für Angewandte Geologie 23, Heft 11.
- GeoUm, 2003: Zusammenfassende Dokumentation und Auswertung der vorliegenden Pumpversuchsdaten. – Bericht GeoUm Büro Geowissenschaften & Umwelt, Barsinghausen, 41 S.
- Gribovski, Z., Szilágyi, J., Kalicz, P., 2010: Diurnal fluctuations in shallow groundwater levels and streamflow rates and their interpretation: A review – Journal of Hydrology 385, 371-383.
- GSF, 1989a: Bericht über hydrologische Messungen im Deckgebirge der Asse im hydrologischen Jahr 1987/88. – Stempel, C.v., Interner Bericht 1/89, Braunschweig, 94 S.
- GSF, 1989b: Erstellung von Tiefbohrungen auf der Südwestflanke der Asse, Abschlussbericht, Förderungskennzeichen WAK 1742 6. – Klarr, K., Dürr, K., Gies, H., Hensel, G., Kolditz, H., Kull, H., Schmidt, M.W., Schweinsberg, A., Steinberg, S., Wallmüller, R., Walter, F., Batsche, H., Carls, P., Paul, J., Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München und Institut für Tiefenlagerung Braunschweig, Juli 1989, 404 S.
- GSF, 1990: Bericht über hydrologische Messungen im Deckgebirge der Asse im hydrologischen Jahr 1988/89. – Stempel, C.v., Interner Bericht 1/90, Braunschweig, 210 S.
- GSF, 1994: Hydrologisches Forschungsprogramm Asse, Abschlussbericht. – Batsche, H., Klarr, K., Stempel, C.v., GSF Institut für Tiefenlagerung (IfT) Bericht 4/94, 461 S. Textteil, 662 S., Anlageband.
- GSF, 1996: Hydrologische Messungen im Deckgebirge der Asse. – Berichtszeitraum 01.11.1993 bis 31.10.1994. Stempel, C.v., Interner Bericht 4/95, Forschungsbergwerk Asse, Remlingen, 110 S.
- GSF, 1999: Hydrologische Messungen im Deckgebirge der Asse. Berichtszeitraum 01.11.1997 bis 31.10.1998. – Stempel, C.v., Vogt, R., Interner Bericht 1/98, Forschungsbergwerk Asse, Remlingen, 120 S.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 395 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- GSF, 2000: Untersuchungen zur Grundwasserbewegung im Umfeld der Schachanlage Asse II, Abschlußbericht. – Graf, W., Pfister, M., Seiler, K.-P., Turberg, P. GSF, Institut für Hydrologie, Neuherberg, 55 S., Band 1 mit Text, 68 S., Band 2 mit Tabellen und Abbildungen.
- GSF, 2001: Grundwassergleichenplan Oktober 1989, Maßstab 1:10 000. – GSF, Institut für Hydrologie, Neuherberg, Zapata, R., 31.10.2001.
- GSF, 2002a: Numerische Modellrechnungen zum Transport von Radionukliden und toxischen Begleitstoffen im Grundwasser des Deckgebirges der Asse und seiner Umgebung – Themenschwerpunkt Isotopenuntersuchungen. – Graf, W., Lang, H., Seiler, K.-P., Zapata, R., GSF-Bericht 180947/99/T, 03.12.2002, 43 S. mit Anlagen.
- GSF, 2002b: Hydrologische Messungen im Deckgebirge der Asse. Berichtszeitraum 01.11.1998 bis 31.10.2001. – Stempel, C.v., Vogt, R., Interner Bericht 2/2002, Forschungsbergwerk Asse, Remlingen, 184 S.
- GSF, 2003: Hydrologische Messungen im Deckgebirge der Asse. Berichtszeitraum 01.11.2001 bis 31.10.2003. – Stempel, C.v., Vogt, R., Interner Bericht 2003, Forschungsbergwerk Asse, Remlingen, 295 S.
- GSF, 2004: Hydrologische Messungen im Deckgebirge der Asse. Berichtszeitraum 01.11.2003 bis 31.10.2004. – Stempel, C.v., Vogt, R., Interner Bericht 2004, Forschungsbergwerk Asse, Remlingen, 239 S.
- Gupta, P., Noone, D., Galewsky, J., Sweeney, C., Vaughn, B.H., 2009: Demonstration of high-precision continuous measurements of water vapor isotopologues in laboratory and remote field deployments using wavelength-scanned cavity ring-down spectroscopy (WS-CRDS) technology. – RCMS 23, 2534-2542.
- Han, L.-F., Plummer, L.N., Aggarwal, P. 2012: A graphical method to evaluate predominant geochemical processes occurring in groundwater systems for radiocarbon dating. – Chemical Geology 318-319, 88-112.
- Han, L.-F., Plummer, L.N., 2013: Revision of Fontes & Garnier's model for the initial ^{14}C content of dissolved inorganic carbon used in groundwater dating. – Chemical Geology 351, 105-114.
- Haude, W., 1955: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. – Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes, Bad Kissingen, Bd. 11.
- Häckel, H., 1999: Meteorologie. – 4. Auflage, Ulmer-Verlag.
- Healy, R.W., Cook, P.G., 2002: Using groundwater levels to estimate recharge. – Hydrogeology Journal 10, 91-109.
- Hem, J.D., 1985: Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. – U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254, 272 S.
- Herrmann, U., Kümpel, H.-J., 2000: Analyse und Interpretation einer in der Bohrung Remlingen 6 aufgenommenen Meßreihe zur Bestimmung der barometrischen Effizienz, des Skempton-Parameters, der Gezeiteneffizienz und der Phasenverschiebung der Hauptgezeitenwellen M2 und O1. – Bericht im Auftrag des GSF, Institut für Hydrologie, Neuherberg, 22 S.
- Horita, J., 2005: Saline Waters. In: Isotopes in the Water Cycle: Past, Present and Future of a Developing Science. – Ed. P.K. Aggarwal, J.R. Gat, K.F. Froehlich, Springer, 271-287.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 396 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- Hoth, P., Seibt, A., Kellner, Th., 1997: Geowissenschaftliche Bewertungsgrundlagen zur Nutzung hydrogeothermaler Ressourcen in Norddeutschland, Teil A Geowissenschaftliche Grundlagen, Kapitel 4: Hydrochemische Charakterisierung mesozoischer Tiefenwässer. – GFZ-Potsdam, STR97/15, Geothermie Report 97-1, 81-108.
- Höhne, E., 1911: Stratigraphie und Tektonik der Asse und ihres östlichen Ausläufers, des Heeseberges bei Jerxheim. – Königlich geologische Landesanstalt, Jahrbuch II, 105 S.
- Höltling, B., Coldeway, W.G., 2008: Hydrogeologie. – Spektrum Akademischer Verlag, 7. Auflage, 383 S.
- IAEA/WMO, 2006: Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. – Zugriff am 04.11.2013 unter: http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/IHS_resources_gnip.html
- IfG, 2009: Gebirgsmechanische Zustandsanalyse und Prognose auf der Basis von Standortdaten sowie 3D-Modellrechnungen. – Kamlot, P., Günther, R.-M., Asmussen-Günther, G., Bericht des Institut für Gebirgsmechanik GmbH (IfG), Leipzig, 11.03.2009, 9A/64331000/GC/RB/0005/00.
- Ingerson, E., Pearson, F.J.Jr., 1964: Estimation of age and rate of motion of ground water by the ^{14}C method. – Recent Researches in the Fields of Hydrosphere, Atmosphere and Nuclear Chemistry, 263-283.
- KGS, 2011: Kansas Geological Survey barometric response function software user's guide. – Bohling, G.C., Wei, J., Butler, J.J., Kansas Geological Survey, The University of Kansas, Lawrence, Kansas Geological Survey Open File Report 2011-10, August 2011, 27 S.
- Klaus, J.S., 2008. Evaluation of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, and Cation Contents as Geochemical Tracers for Provenance and Flow Paths of Saline Solutions in German Zechstein Deposits. – Dissertation, Universität Göttingen, 157 S.
- Kloppmann W., Négrel P., Casanova J., Klinge H., Schelkes K., Guerrot C., 2001: Halite dissolution derived brines in the vicinity of a Permian salt dome (N German Basin). Evidence from boron, strontium, oxygen, and hydrogen isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Band 65 Ausgabe 22, 4087-4101.
- Kunkel, R., Wendland, F., 2002: The GROWA98 model for water balance analysis in large river basins – The River Elbe case study. – *Journal of Hydrology*, 259, 152-162.
- Kunkel, R., Voigt, H.-J., Wendland, F., Hannappel, S., 2004: Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland. – Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt / Environment, Band 47, 222 S.
- Kümpel, H.J., 1997: Tides in water saturated rocks – In Wilhelm, H., Zürn, W., Wenzel, H.-G. (Hrsg.), *Lecture Notes in Earth Science: Tidal Phenomena*. Springer Verlag, 277-291.
- LAWA, 1993: Grundwasserrichtlinie, Teil 3: Grundwasserbeschaffenheit. – Veröffentlichungen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA).
- LBEG, 2008: Landesamt für Bergbau, Geologie, Energie und Umwelt, 2008, BÜK 50: Nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte von Niedersachsen 1:50 000. – Niedersächsisches Bodeninformationssystem (NIBIS), Hannover.
- Lemke, D., Elbracht, J., 2008: Grundwasserneubildung in Niedersachsen – Ein Vergleich der Methoden Dörhöfer & Josopait und GROWA06v2. – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, *GeoBerichte* 10, 3-61.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 397 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- Lis, G.P., Wassenaar, L.I., Hendry, M.J., 2007: High precision laser spectroscopy D/H and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ measurements of microliter natural water samples. *Analytical Chemistry* 80, 287-293.
- LGN, 2003: ATKIS: Amtliches topographisches Karteninformationssystem, DLM 25.2. – Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen (Hrsg.), Hannover.
- LGRB, 2009: Natürliche Geogene Grundwasserbeschaffenheit in den hydrogeochemischen Einheiten von Baden-Württemberg. – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Boden (LGRB) Baden-Württemberg, Informationen 23, 192 S., 43 Abb., 55 Tab., 48 Kt.
- Lucas, L.L., Unterweger, M.P., 2000: Comprehensible review and critical of the half-life of Tritium. – *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology* 105(4), 541-549.
- März, K., 1977: Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen im Buntsandstein und Muschelkalk Nordbayerns. – Sonderdruck der Zeitschrift *Hydrochemische und hydrologische Mitteilungen*, Dissertation der TU München.
- Maniak, U., 1992: Abflussmessung im Bereich der Schachanlage Asse. – Leichtweiß-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig, 24 S.
- Mattheß, G., 1994: Die Beschaffenheit des Grundwassers – Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 2, Berlin (Borntraeger), 499 S.
- Mattheß, G., Ubell, K., 2003: Allgemeine Hydrogeologie – Grundwasserhaushalt. – Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 1, Berlin (Borntraeger), 575 S.
- Marsh, J.M., Lloyd, J.W., 1980: Details of hydrochemical variations in flowing wells. – *Ground Water* 18, 366-373.
- Mook, W.G., 1972. On the reconstruction of the initial ^{14}C content of groundwater from the chemical and isotopic composition. – *Proceedings of Eighth International Conference on Radiocarbon Dating*, Vol. 1. Royal Society of New Zealand, Wellington, 342-352.
- Mook, W.G., 2001. *Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle. Principles and Applications.* UNESCO/IAEA Series, Zugriff am 07.01.2014 unter http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/IHS_resources_publication_hydroCycle_en.html
- Mook, W.G., 2006: *Introduction to Isotope Hydrology: Stable and Radioactive Isotopes of Hydrogen, Oxygen and Carbon.* – Band 25 der Serie "Contributions to Hydrogeology" der International Association of Hydrogeologists, Taylor & Francis, 226 S.
- Müller-Westermeier, G., Kreis, A., Dittmann, E. (Hrsg.), 1999: *Klimaatlas Deutschland. Teil 1.* – Offenbach am Main.
- Müller, E.P., Papendieck, E., 1975: Zur Verteilung, Genese und Dynamik von Tiefenwässern unter besonderer Berücksichtigung des Zechsteins. – Berlin, Akademie-Verlag, *Zeitschrift der geologischen Wissenschaften* 3, 167-196.
- NLWKN, 2010: *Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch Weser- und Emsgebiet 2010*, 1.11.2009 - 31.12.2010. Herausgeber Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz.
- Plummer, L.N., Prestemon, E.C., Parkhurst, D.L., 1994: An interactive code (NETPATH) for modeling net geochemical reactions along a flow path. – Version 2.0. *Water-Resources Investigations Report* 94-4169. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey. http://wwwbrr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/netpath/



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 398 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- Plummer, L.N., Glynn, P.D., 2013: Radiocarbon dating in groundwater systems. – Kapitel 4 in: Isotope methods for dating old groundwater. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria, 33-90.
- Post, V., Kooi, H., Simmons, C., 2007: Using hydraulic head measurements in variable-density ground water flow analysis. – Ground Water 45, 664-671.
- Radtke, D.B., White, A.F., Davis, J.V., Wilde, F.D., 1998: National field manual for the collection of water-quality data – dissolved oxygen. – U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, Book 9, Chap. A6, Sect. 6.2.
- Rasmussen, T.C., Crawford, L.A., 1997: Identifying and removing barometric pressure effects in confined and unconfined aquifers. – Ground Water 35, 502-511.
- Richter, D., 1995: Ergebnisse methodischer Untersuchungen zu Korrektur des systematischen Meßfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers, Berichte des Deutschen Wetterdienstes 194, im Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach.
- Roether, W., Well, R., Putzka, A., Rüth, C., 1998: Component separation of oceanic helium. – Journal of Geophysical Research 103 (C12), 27931-27946.
- Rose, S., Long, A., 1988: Monitoring dissolved oxygen in ground water: Some basic considerations. – Ground Water Monitoring & Remediation 8, 93-97.
- Sandia, 2005: User Manual for BETCO Version 1.00. Nathaniel Toll; Sandia National Laboratories (SNL), ERMS# 540534, Oktober 2005.
- Schmidt, K.H., 2006: Geochemische Untersuchungen zur Herkunft salinärer Lösungen. Sr- und Pb-Isotope als Tracer in Lösungen des FB Asse, Abschlussbericht. – Fachgebiet Mineralogie-Geochemie-Salzlagerstätten, Technische Universität Clausthal, 54 S.
- Schoeller, G., 1962: Les eaux souterrains. – Masson Verlag, Paris, 642 S.
- Schönfeld, E., 1985: Die Grundwasserbewegung im Deckgebirge und am Salzspiegel des Salzstockes Asse. – Dissertation an der Fakultät für Geowissenschaften der Ludwigs-Maximilians-Universität, München, 107 S.
- Schräber D., Szymczak, P., 1984: Zur Ermittlung des Basisabflusses und der Abschätzung dräbnabler Kluftvolumina aus Quellschüttungsmessungen in Festgesteinen. – Zeitschrift für angewandte Geologie 30, Heft 3.
- Schwandt, A., Teichmann, L., Franzke, H.J., 2008: Ergänzende Beurteilung der Salzlösungszutritte in das Grubengebäude der Schachanlage Asse II unter Berücksichtigung der tektonischen, gebirgsmechanischen und regionalen hydrogeologischen Situation. – Unveröffentlichter Bericht, Büro Dr. Schwandt, Erfurt, 81 S.
- Seidel, E., 2011a: Hydrologische Standortüberwachung der Schachanlage Asse II südöstlich Wolfenbüttel – Analyse von Quell- und Oberflächengewässern zur Komplementierung des bestehenden Messnetzes. – Goethe-Universität Frankfurt am Main, Diplomarbeit, 107 S.
- Seidel, E., 2011b: Nutzung des Edelgasisotops Radon-222 als natürlicher Tracer zur Erkundung von möglichen Grundwassereintritten in das Flussbett der Altenau. – Goethe-Universität Frankfurt am Main, Diplomkarte zur Auswertung eines Feldversuches, 8 S., 4 Kartenblätter.
- Selent, K.-D., Grupe, A., 1998: Die Probenahme von Wasser: Ein Handbuch für die Praxis. – Oldenbourg Verlag, Essen, 243 S.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 399 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

- Soler, E., 2006: Grundwasserprobenahmen-Kampagne 2006, Beschreibung der Probennahme-Routine für die Messstellen des FB-Asse. – Interner Bericht Forschungsbergwerk Asse, 10 S.
- Solomon, D.K., 2000: ⁴He in groundwater. – In: Cook P.J., Herczeg A.L. (Ed.) Environmental tracers in subsurface hydrology. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
- Solomon, D.K, Cook, P.C., 2000: ³H and ³He. – Environmental tracers in subsurface hydrology, Ed.: Cook P.J., Herczeg A.L., Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
- Spane, F.A., 2002: Considering barometric pressure in groundwater flow investigations. – Water Resources Research 38, 14-1 – 14-18.
- Stadler, S., Sültenfuß, J., Holländer, H.M., Bohn, A., Jahnke, C., Suckow, A., 2012: Isotopic and geochemical indicators for groundwater flow and multi-component mixing near disturbed salt anticlines. – Chemical Geology 294-295, 226-242.
- Stein, A., 1999: Bestimmung der Grundwasserneubildung im Bereich Asse als Eingangsparameter für das hydrogeologische Modell. – Diplomarbeit, Institut für Geographie und Geoökologie, Technische Universität Braunschweig, 118 S.
- Stempel, C.v., 2004: Ergebnisbericht der Messungen in den ersoffenen Schächten Asse 1 und Asse 3. GSF-Bericht, 11.06.2004, 7 S. (Text), 20 S. (Anlagen).
- Stockmann, N., Markgraf, G., Taylor, T., Teichmann, L., Heydorn, M., Hensel, G., 2006: Zusammenstellung und Bewertung der ab 1988 im Grubengebäude der Schachanlage Asse II aufgetretenen Salzlösungen und Gase. – Projekt Langzeitsicherheit Asse, Forschungsbergwerk Asse, Remlingen 99 S.
- Sültenfuß, J., 1998: Das Radionuklid Tritium im Ozean: Messverfahren und Verteilung von Tritium im Südatlantik und im Weddelmeer. – Berichte zur Polarforschung 256, Alfred-Wegener-Institute für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven.
- Sültenfuß, J., Massmann, G., 2004: Datierung mit der ³He-Tritium-Methode am Beispiel der Uferfiltration im Oderbruch. – Grundwasser 9(4), 221-234.
- Sültenfuß, J., Purtschert, R., Führböter, J.F., 2011: Age structure and recharge conditions of a coastal aquifer (northern Germany) investigated with Ar-39, C-14, H-3, He isotopes and Ne. – Hydrogeology Journal 19(1), 221-236.
- Tamers, M.A., 1975: Validity of radiocarbon dates on groundwater – Geophysical Surveys 2, 217-239.
- Toll, N.J., Rasmussen, T.C., 2007: Removal of barometric pressure effects and earth tides from observed water levels. – Groundwater 45, 101-105.
- Torgersen, T., Stute, M., 2013: Helium (and other noble gases) as a tool for the understanding long timescale groundwater transport. – Kapitel 8 in: Isotope methods for dating old groundwater. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria, 179-216.
- TWVO, 2011: Erste Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung vom 3. Mai 2011. – Bundesgesetzblatt Jahrgang 2011, Teil 1, Nr. 21, Bonn.
- Van Camp, M., Vauterin, P., 2005: TSoft: graphical and interactive software for the analysis of time series and Earth tides. – Computers & Geosciences 31, 631-640.
- Vogel, J.C., 1970: ¹⁴C groundwater dating. – In: Isotope hydrology 1970. IAEA, Vienna, 225-240.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 400 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Weinberg, R., 1997: Zusammenfassender Bericht über die strukturgeologischen Untersuchungen im Asse-Sattel. – Gesellschaft für angewandte Biologie und Geologie mbH, Göttingen, 02.12.1997, Bericht, GSF-Auftrag 31/170702/97/T, 52 S. mit 3 Karten.

Wendling, U., 1995: Berechnung der Gras-Referenzverdunstung mit der FAO-Penman-Monteith-Beziehung. – Wasserwirtschaft 85 (12): 602-604, 3 Tab.; Wiesbaden (Vieweg).

Wundt, W., 1953: Gewässerkunde. – Berlin, Springer Verlag, 320 S.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 401 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

ANHANG A: BESCHREIBUNG DER GW- UND M-MESSSTELLEN

Tab. A.1: Lokalität und Kurzcharakterisierung der erbohrten lithologischen Abfolge der hydrogeologischen („H“-) Bohrungen des hydrogeologischen Untersuchungsprogramms.

Messstelle	R-Wert	H-Wert	Messpunkthöhe	Endteufe	Stratigraphische Abfolge / Position
	44..	57..	(mNN)	(m)	(m)
Hydrogeologische Bohrungen					
H1	..10192	..78086	152,4	70	1,5 m: <i>q</i> ; 70 m: <i>mu</i>
H2	..10375	..78102	143,43	61	2,5 m: <i>q</i> ; 40 m: <i>km</i> ; 42 m: <i>mo</i> ; 61 m: <i>mm</i>
H3	..08973	..78441	226,19	98	2 m: <i>sm</i> ; 98 m: <i>su</i>
H4	..09668	..78424	208,89	116,5	4 m: <i>q</i> ; 8 m: <i>mm</i> ; 112 m: <i>mu</i> ; 116,5 m: <i>so</i>
H5	..09995	..77809	188,21	146	30 m: <i>so1</i> ; 122 m: <i>z3r</i> (Gips+Anhydrit); 146 m: <i>z3r</i> (Hutgestein)
H6	..09107	..78007	179,98	71	32 m: <i>q</i> ; 40 m: <i>mm</i> ; 71 m: <i>so</i>
H7	..09789	..76863	145,62	50	2,5 m: <i>q</i> ; 50 m: <i>ju</i>
H8	..07146	..79234	195,76	258,7	3 m: <i>q</i> ; 8 m: Tertiär; 196 m: <i>s</i> (verstürzt); 214 m: <i>z</i> (Hutgestein); 258,7 m: <i>z</i>
H9	..07617	..78040	145,1	63	63 m : <i>ju</i>
H10	..07402	..78681	137,9	38,5	1 m: <i>q</i> ; 38,5 m: <i>mo2</i>
H11	..05696	..80091	110,62	149,2	11 m: <i>q</i> ; 149,2 m: <i>z(A3)</i>
H12	..05668	..80354	114,28	74	20 m: <i>q</i> ; 74 m: <i>s</i>
H13	..06069	..80028	124,54	62	3,5 m: <i>q</i> ; 62 m: <i>su</i>
H14	..07544	..78751	148,6	68,2	9 m: <i>q</i> ; 68,2 m: <i>mu</i>
H15	..10039	..78282	173,4	50,65	12 m: <i>mo1</i> ; 50,65 m: <i>mm</i>
H15a	..10030	..78304	175	44,1	3,5 m: <i>q</i> ; 14 m: <i>mo1</i> ; 44,1 m: <i>mm</i>
H16	..09152	..77986	178,2	74	2 m: <i>q</i> ; 56 m: <i>mm</i> ; 74 m: <i>so</i>
H17	..08102	..78628	173,32	243	3 m: <i>q</i> ; 53,5 m: <i>z (A3)</i> ; 174 m: <i>s</i> (verstürzt); 230,5 m: <i>z</i> (Hutgestein); 243 m: <i>zNa3gamma</i>
H18a	..06624	..79683	146,03	230,5	4,5 m: <i>q</i> ; 165 m: <i>su</i> ; 230,5 m: <i>z3r</i>
H19	..07562	..78934	149,3	217,5	1,5 m: <i>q</i> ; 190 m: <i>su</i> ; 217,5 m: <i>z3r</i>
H21	..06666	..79343	148,85	190,4	2 m: <i>q</i> ; 181 m: <i>s</i> (verstürzt); 190,4 m: <i>z</i> (Hutgestein)
H22	..07783	..79343	201,53	134	2,5 m: <i>q</i> (Löß); 134 m: <i>s</i> (Hauptrogenstein)
H23	..08156	..78352	225,36	163	0,25 m: <i>q</i> ; 163 m: <i>mu</i>
H24b	..08335	..78378	205,48	207,1	2,35 m: <i>q</i> ; 207,1 m: <i>so1+so2</i>
H25	..06943	..79255	185,81	390	4 m: <i>q</i> ; 390 m: <i>so2+so1</i>

Felder grau hinterlegt = Bohrung verfüllt.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 402 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. A.2: Lokalität und Kurzcharakterisierung der erbohrten lithologischen Abfolge der Pegel- („P“-) Bohrungen des hydrogeologischen Untersuchungsprogramms.

Mess- stelle	R-Wert	H-Wert	Messpunkt- höhe	Endteufe	Stratigraphische Abfolge / Position
	44..	57..	(mNN)	(m)	(m)
Pegelbohrungen					
P1	..08869	..77469	163,48	19,5	3 m: <i>q</i> ; 19,5 m: <i>ju</i>
P2	..10319	..77886	171,8	15	1 m: <i>q</i> ; 15 m: <i>m</i>
P3	..07173	..78465	126,97	16	2,2 m: <i>q</i> ; 16 m: <i>k</i>
P4	..08152	..79667	193,43	20	0,5 m: <i>q</i> ; 20 m: <i>mm</i>
P5	..06340	..80671	179,6	15	4,5 m: <i>q</i> ; 15 m: <i>mu</i>
P6	..06521	..80678	168,36	21	0,5 m: <i>q</i> ; 21 m: <i>mm</i>
P7	..06715	..80614	176,3	15	0,5 m: <i>q</i> ; 15 m: <i>mo</i>
P8	..07259	..78555	130,68	6	3 m: <i>q</i> ; 6 m: <i>k</i>
P9	..09218	..77530	164,12	21	1 m: <i>q</i> ; 21 m: <i>k</i>
P10	..07358	..78679	137,55	34,5	2 m: <i>q</i> ; 13 m: <i>ku</i> ; 34,5 m: <i>mo</i>
P11	..10461	..78067	149,23	14,5	5,5 m: <i>q</i> ; 14,5 m: <i>km</i>
P12	..10958	..78377	123,02	10	3 m: <i>q</i> ; 10 m: <i>ju</i>
P13	..08857	..78102	213,58	97,5	0,2 m: <i>q</i> ; 85,6 m: <i>mm</i> ; 97,5 m: <i>so3</i> über <i>so2</i>
P14	..07604	..78855	159,57	78	8 m: <i>q</i> ; 29 m: <i>sm</i> ; 78 m: <i>z</i>
P15	..09151	..77388	159,82	46	2 m: <i>q</i> ; 6 m: <i>ju</i> ; 36,5 m: <i>ko</i> (Rhätsandstein); 46 m: <i>ko (km4)</i>
P16	..09292	..77941	201,73	82	3,3 m: <i>q</i> ; 8,6 m: <i>mm</i> ; 82 m: <i>mu</i>
P17	..08163	..80110	133,09	63,3	2,4 m: <i>q</i> ; 63,3 m: <i>km1</i>

Felder grau hinterlegt = Bohrung verfüllt.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 403 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. A.3: Lokalität und Kurzcharakterisierung der erbohrten lithologischen Abfolge der tiefen Remlingen-(„R“) Bohrungen des hydrogeologischen Untersuchungsprogramms sowie der Schächte und Brunnen auf dem Asse-Höhenzug.

Mess- stelle	R-Wert	H-Wert	Messpunkt- höhe	Endteufe	Stratigraphische Abfolge / Position
	44..	57..	(mNN)	(m)	(m)
Remlingen-Bohrungen					
R5	..08717	..77743	172,64	2256,3	12 m: <i>q</i> ; 28,5 m: <i>km2</i> ; 411,2 m: <i>km1</i> ; 460,5 m: <i>ku</i> ; 610,5 m: <i>mo2</i> ; 628 m: <i>mo1</i> ; 790,9 m: <i>mm</i> ; 917,8 m: <i>mu</i> ; 1080,9 m: <i>so</i> ; 1652,6 m: <i>z</i> ; 1773,6 m: <i>sm</i> ; 2184,8 m: <i>z</i> ; 2241,58 m: <i>r</i>
R6	..08850	..78893	193,32	697,56	13,7 m: <i>q</i> ; 59,5 m: <i>ku</i> ; 187,8 m: <i>mo2</i> ; 215,1 m: <i>mo1</i> ; 467,7 m: <i>mm</i> ; 648,8 m: <i>mu</i> ; 697,56: <i>so4</i>
R7	..08461	..77919	181,32	909	1,5 m: <i>q</i> ; 203,1 m: <i>km</i> ; 431,2 m: <i>ku</i> ; 564 m: <i>mo2</i> ; 581,7 m: <i>mo1</i> ; 741,7 m: <i>mm</i> ; 867,1 m: <i>mu</i> ; 909 m: <i>so4</i>
R8	..09187	..77726	169,65	703	8,7 m: <i>q</i> ; 92,6 m: <i>ku</i> ; 224,8 m: <i>mo2</i> ; 246,3 m: <i>mo1</i> ; 458,6 m: <i>mm</i> ; 689,4 m: <i>mu</i> ; 703 m: <i>so4</i>
R9	..09588	..77987	195,22	1178,38	13,93 m: <i>q</i> ; 31,5 m: <i>so</i> ; 479,83 m: <i>su</i> ; 1178,38 m: <i>z</i>
Pegel-Bohrungen Neu					
PN1	..11293	..77280	176,95	250,35	24,18 m: <i>q</i> ; 35,8 m: <i>mm</i> ; 186,4: <i>mu</i> ; 248,35: <i>so4</i> ; 250,35 m: <i>so3</i>
PN2	..10260	..77561	207,37	260	8,00 m: <i>q</i> ; 47,17 m: <i>mm</i> ; 213,00: <i>mu</i> ; 260 m: <i>so</i>
PN3	..08377	..78092	205,25	185,15	3,50 m: <i>q</i> ; 185,15 m: <i>mo</i>
Schächte und Brunnen					
S1	..07830	..78920	160,45	375	202 m: <i>s/zo</i> ; 215 m: <i>Na3/A3</i> ; 288 m: <i>A3/T3</i> ; 296 m: <i>A3/K2C</i> ; 340 m: <i>zNa2</i>
S2	..09062	..78191	192,5	753	249 m: <i>su</i> ; 250 m: Gips; 284 m: Salzton; 625 m: <i>NaCl mit Anhydritbänken</i> bei 337, 356, 376 und 376 m; 660 m: <i>K2C</i> ; 710 m: <i>Na2+Carnallit</i>
S3	..12300	..77067	170,17	725	3,4 m: <i>q</i> ; 60 m: Gips, Anhydrit, Ton; 80 m: Gips, Ton, mergelige Gerölle; 380 m: Ton mit Gips (315-325 m Sandstein); 396,3 m: Hutgestein (Zechstein-Residualgebirge); 396,3 m: Salzspiegel; 725,0 m: Zechstein (Steinsalz)
M1	..09006	..78190	192,53	28	28 m: <i>su</i> (verstürzt)

Felder grau hinterlegt = Bohrung verfüllt.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 404 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. A.4: Bezeichnung und Charakterisierung der M-Messstellen des Asse-Höhenzuges und der umliegenden Gebiete nach [Seidel 2011a].

Mess-stelle ⁽¹⁾	Messstellenart	Bezeichnung, Örtlichkeit	Bemerkung	Geologie	Teil-gebiet ⁽²⁾
M0	Vorfluter	Bleier Graben		<i>q</i>	B1
M2	Quelle	An der Straße Remlingen-Gr. Vahlberg, im Bereich von Quer- u. Diagonalstörung	Wird nach [GSF 1994] zeitweilig von Salzwasser gespeist; Teil der ehem. Wasserversorgung Gr. Vahlberg	<i>m (mu)</i>	A3
M3	Quellzulauf des Wasserbehälters	An der Straße Remlingen-Gr. Vahlberg, im Bereich von Quer- u. Diagonalstörung	Teil der ehem. Wasserversorgung Gr. Vahlberg	<i>m</i>	A3
M3b	Wasserbehälter	an der Straße Remlingen-Gr. Vahlberg, im Bereich von Quer- u. Diagonalstörung	Teil der ehem. Wasserversorgung Gr. Vahlberg	<i>m</i>	A3
M4	Quelle	Quelle, Straße nach Gr. Vahlberg	Nicht permanent wasserführend	<i>m</i>	A3
M5	Vorfluter	Vorfluter. 1 km SE Gr. Vahlberg			A4
M6	Quelle	Quelle im Wald Klein Vahlberger Buchen (W Klein Vahlberg)	Nicht permanent wasserführend	<i>s/z</i>	A4
M7, M7a	Vorfluter	Vorfluter oberhalb Badeanstalt in Remlingen			C4
M8a	Vorfluter	Vorfluter N Remlingen, westlicher Arm, entlang der Straße	Nicht permanent wasserführend; gespeist aus Überlauf von M1		C4
M8b	Vorfluter	Vorfluter N Remlingen, östlicher Arm, Austritt aus Feld	Nicht permanent wasserführend		C4
M9	Brunnen	Brunnen der ehem. Wasserversorgung Remlingen		<i>kro</i>	C5
M10	Quelle	Quelle N von Schacht Asse 1 (Rötquelle)		<i>so</i>	A2
M10a	Wasserleitung	Wasserleitung, Zuleitung zu Asse 1	[GSF 1994]: war ein Überlauf der Quelle M10; eine Schlauchleitung zum Kalibergwerk Asse I	<i>so</i>	A2
M10b	Quelle	Quelle N M10	Neu aufgenommen	<i>so</i>	A2
M11	Vorfluter	Rothebach N Schacht Asse 1			A2
M12	Brunnen	Brunnen der ehem. Wasserversorgung Wittmar		<i>ko</i>	C2
M13	Drainage o. Quelle	Drainage. Bleier Graben (Drainage und Quelle N Gr. Denkte)		<i>s (su)</i>	A1
M13a	Drainage o. Quelle	Quelle Bleier Graben		<i>s (su)</i>	A1



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 405 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. A.4: Fortsetzung (Seite 2 von 9).

Messstelle ⁽¹⁾	Messstellenart	Bezeichnung, Örtlichkeit	Bemerkung	Geologie	Teilgebiet ⁽²⁾
M14	Quelle	Quelle E Gr. Denkte	Muschelkalkquelle; [GSF 1994]: fällt häufig trocken	mm	C1
M15	Quelle	Quelle östlich Gr. Denkte	Gefasste Quelle mit Überlauf, [GSF 1994]: zeitweilig versiegt	mm	C1
M16	Quelle	Quelle am Osterbach		s	A1
M17	Quelle mit Brunnenanlage	Quelle der ehemaligen Wasserversorgung Gr. Denkte		s	A1
M17a-c	Brunnenanlage der Quelle M17	Quelle der ehemaligen Wasserversorgung Gr. Denkte		s	A1
M18	Quelle	Quelle NE Gr. Denkte	Rötquelle	so	A1
M18a	Vorfluter	Vorfluter NE Gr. Denkte		so	A1
M19	Vorfluter	Vorfluter Osterbach N Gr. Denkte	Altes Messwehr		A1
M19a	Brunnen	Osterbach N Gr. Denkte	Vermutung, dass Brunnen sich unter Gullyabdeckung befindet		A1
M20	Quelle	Fischteichgelände am Falkenheim	Soll nach Batsche et al. 1994 anteilig Salzwasser führen (historische Skizze vorhanden)	mu	A1
M20a+c	Quellen	Fischteichgelände am Falkenheim	Gering schüttende Quellenausstritte in den Abfluss von M20 (historische Skizze vorhanden)	mu	A1
M20b	Quelle	Fischteichgelände am Falkenheim	Sehr gering schüttende Quelle an der Gartenhütte		A1
M21	Quelle	Quelle im Wildgehege W Falkenheim	Quelle am Weiher, gefasst mit Rohr	mm	A1
M22	Quellen	Quellen in Sumpfgelände NE Falkenheim	Werden als „Kalksinterquellen“ bezeichnet	m (mo?)	A1
M22a	Quelle	Quellen in Sumpfgelände NE Falkenheim	Werden als „Kalksinterquellen“ bezeichnet		A1
M23	Brunnen	Brunnen der ehem. Wasserversorgung Mönchevahlberg		ko (Rhät-sandstein)	A2
M24	Salzwasserquelle	Salzwasserquelle oberhalb Badeanstalt Gr. Denkte	[GSF 1994]: durch Kanalisierung nicht mehr zugänglich	s/z	B1
M25	Vorfluter	Vorfluter Rothebach in Wittmar			C2
M26	Quelle	Quelle im Bahneinschnitt Gr. Denkte (Rogensteinquelle)	[GSF 1994]: Schüttung stark abhängig von Witterung	su	A1
M26-S	Drainagefassung	Drainage bei M26, Einmündung der Bahndrainage			A1
M27	Quellüberlauf	Quellüberlauf Hochbehälter Gr. Denkte	GW-Leiter liegt nach [GSF 1994] in Nähe zum Salzsattel	s	A1



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 406 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. A.4: Fortsetzung (Seite 3 von 9).

Messstelle ⁽¹⁾	Messstellenart	Bezeichnung, Örtlichkeit	Bemerkung	Geologie	Teilgebiet ⁽²⁾
M28	Quelle	Quelle NE des Falkenheims		<i>m (mo?)</i>	A1
M29	Drainage (evtl. Quelle)	Schönebuschquelle W Gr. Vahlberg	Nach [GSF 1994]: nicht permanent wasserführend	<i>km4</i>	A2
M30	Drainage	Drainage S Gr. Vahlberg, Gut Münchhausen, Privatgelände	Mündet in M35, genaue Messung aufgrund des Wasserrückstaus von M35 nicht möglich	<i>k (km)</i>	A3
M31	Salzwasserdrainage	Salzwasserdrainage E Gr. Denkte im Bleier Graben		<i>s/z</i>	B1
M31a	Vorfluter o. Drain.	Vorfluter E M63			A1
M31b	Vorfluter	Vorfluter E M63	Obere Salzwasserdrainage		A1
M32	Brunnen	Brunnen, Wasserversorgung Falkenheim		<i>mm</i>	A1
M32a	Brunnen	Brunnen, ehem. Wasserversorgung Falkenheim		<i>mm</i>	A1
M33ff	Sumpfquellen	Sumpfquellen N Kreuzberg	Unzugänglicher Quellaustritt hinter Hochsitz im Sumpfbereich, nach historischer Kartierung 33/1 bis 33/8	<i>ko</i>	A1
M34	Quelle	Quelle SW M25	Nicht mehr auffindbar	<i>km</i>	C2
M35	Vorfluter	Vorfluter S Gr. Vahlberg			A3
M36	Quelle	Quelle im Wildgehege N Falkenheim (Oberer Muschelkalk-Quelle)		<i>mo</i>	A1
M37	Brunnen	Brunnen S Sottmar	Trocken	<i>kro</i>	C5
M38	Quelle	Quelle „Forellenteich“ bei M37 (Oberkreidequelle bei Kissenbrück)	Karstwasserquelle	<i>kro</i>	C5
M39	Quelle	Quelle „Forellenteich“ Wasserversorgung von Kissenbrück (Oberkreidequelle)		<i>kro</i>	C5
M40	Quelle	Quellüberlauf	Quellüberlauf der alten Wasserversorgung Mönchevahlberg	<i>k (ko)</i>	A2
M40/1-4	Brunnen	Brunnen, oberhalb M40		<i>k</i>	A2
M41	Vorfluter	Vorfluter W Espenberg, SE von Mönchevahlberg			A2
M41a	Drainage	Drainage W Espenberg (oberhalb M41)		<i>k</i>	A2
M42	Drainage	Drainage N M5 (SE von Gr. Vahlberg)			A4



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 407 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. A.4: Fortsetzung (Seite 4 von 9).

Messstelle ⁽¹⁾	Messstellenart	Bezeichnung, Örtlichkeit	Bemerkung	Geologie	Teilgebiet ⁽²⁾
M43	Quelle	Löffelgrabenquelle, NE von Remlingen		km4	C4
M44	Schacht	Alte Leckstelle, Schachtsäule Schacht Asse 2		s/z	B2
M46	Quelle	Quelle südlich (hinter) Wasserbehälter M51 Gr. Vahlberg		m	A3
M48	Quelle	Quelle im Wald, Remlinger Herse (Quelle NW Schacht Asse 2)	Schwach schüttende Waldquelle, nordwestlich Asse II, Quellmund nicht richtig auszumachen	q (s/z)	B2
M50	Quelle	Quelle im Wald Klein Vahlberger Buchen (W Klein Vahlberg)		mm (s/z?)	A4
M51	Überlauf des Wasserbehälters der Wasserversorgung Groß Vahlberg	An der Straße Remlingen-Gr. Vahlberg, im Bereich der Diagonalstörung	Teil der ehem. Wasserversorgung Groß Vahlberg	m	A3
M52	Salzwasserquelle	Salzwasserquelle Bleier Weg, Gr. Denkte	[GSF 1994]: durch Kanalisierung nicht mehr zugänglich; es könnte sich, nach Aussage Einheimischer um eine Quelle handeln die unter der Straße an der Stelle Bleier Weg, Abzweig Asseweg liegt	s/z	B1
M53	Quellüberlauf	Quellüberlauf des alten Wasserbehälters in Wittmar	Nicht permanent wasserführend; 2010 nicht mehr auffindbar	k?	C2
M54	Quelle	Quelle W Wittmar, Wittmarhorn	Quellaustritt in Betoneinhausung bei M112; Abfluss nicht perm.	j, k?	C3
M55a	Quelle	Quelle des Huckentalbachs, SW Sandberg		ko/jl	C4
M55-Q	Vorfluter	Vorfluter Huckentalbach			C4
M55	Quelle	Quelle am Steinberg bei Remlingen		kru2-5y	C5
M56	Quelle	Quelle Parkplatz „Waldhaus zur Asse“	Nicht permanent wasserführend; nicht mehr auffindbar	s	B2
M57	Brunnen	Ehem. Brunnen der Wasserversorgung Schacht Asse 1		s/z	B2
M57b	Wasserbehälter	Ehem. Wasserversorgung Schacht Asse 1		s/z	B2
M58	Brunnenanlage (Quelle)	Brunnen alte Wasserversorgung Wittmar, Wittmarhorn	Wasseraustritt neben alter Brunnenanlage mit 6 Brunnen	k	C3



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 408 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. A.4: Fortsetzung (Seite 5 von 9).

Messstelle ⁽¹⁾	Messstellenart	Bezeichnung, Örtlichkeit	Bemerkung	Geologie	Teilgebiet ⁽²⁾
M59	Brunnen	Brunnen, Freibad Remlingen			C5
M60	Brunnen (Flachbrunnen) u. Überlauf	Straßenbrunnen Straße Remlingen-Klein Vahlberg	Liegt unter einem Gullydeckel in der Schöppenstedter Straße, vor einem Carport		C5
M62	Brunnen	Brunnen Gut Quidde, Remlingen			C5
M63	Salzwasserquelle	Salzwasserquelle im Bleier Graben		s/z (zo)	B1
M65	Wasserbehälter	Wasserbehälter der ehem. Trinkwasserversorgung Gr. Denkte	Quellüberlauf M16, M17, M27		A1
M66	Quelle	Quelle „Erbsenquelle“ S Gr. Vahlberg, in Nähe der Feldscheune Gut Münchhausen	[GSF 1994]: seit 1982 kaum noch nennenswerte Schüttung durch Verlegung einer neuen Felddrainage	ko	A3
M67	Salzwasserdrainage	Drainage, Bleier Graben			B1
M68	Salzwasserquelle oder -drainage	Salzwasserquelle Bahndamm NE Gr. Denkte	Nicht mehr auffindbar	s/z	B1
M69	Drainage	Unter Drainage am Bleier Weg		s/z	B1
M70	Drainage	Mittlere Drainage am Bleier Weg	Nach [GSF 1994] teilweise salzwasserführend	s/z	B1
M71	Drainage	Obere Drainage am Bleier Weg	Nach [GSF 1994] teilweise salzwasserführend	s/z	B1
M72	Hausbrunnen	Hausbrunnen, Bleier Weg	Koordinaten sind falsch, der Brunnen befindet sich im Wohnhaus neben dem Sportplatz; nach Aussage der Bewohnerin soll der Brunnen trocken sein	s/z	B1
M74	Drainage (Quelle?)	Drainage bei M29	Nicht mehr auffindbar		A2
M75	Vorfluter/Teich	Drainage bei M29	Wasserfläche unterhalb M29		A2
M77	Quelle	Quelle W Mönchevahlberg	Nicht mehr auffindbar		A2
M80a	Quelle o. Drain.	Felddrainage S Gr. Vahlberg			A4
M80	Quelle o. Drain.	Quelle W Mönchevahlberg	Nicht ganz geklärt, ob es sich um eine Quelle oder eine Drainage handelt	k? (km4)	A4
M81	Salzwasserdrainage	Salzwasserdrainage im Bleier Graben		s/z	B1
M82	Salzwasserdrainage	Salzwasserdrainage S Freibad Gr. Denkte, Schacht	Drainage am Ackerrand, gegenüber Freibad im Mühlenweg	s/z	B1



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 409 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. A.4: Fortsetzung (Seite 6 von 9).

Mess- stelle ⁽¹⁾	Messstellenart	Bezeichnung, Örtlichkeit	Bemerkung	Geologie	Teil- gebiet ⁽²⁾
M86	Vorfluter	Vorfluter Straße Gr. Denkte- Mönchevahlberg (Falkenheimbach)			A1
M87	Vorfluter	Vorfluter NNE Gr. Denkte (Vorfluter Rie- he-West)			A1
M88	Vorfluter	Vorfluter NNE Gr. Denkte (E M87 / Vor- fluter Riehe-Ost)			A1
M88a	Drainage	Drainage NNE Gr. Denkte (S M88 Drai- nage Riehe-Ost)		<i>km?</i>	A1
M89	Vorfluter	Vorfluter, N Remlingen			C4
M90	Vorfluter	Vorfluter beim Friedhof in Wittmar	Nach [GSF 1994] „zeitweilig trocken“		C3
M91	Drainage	Drainage NE M90			C3
M92	Drainage	Drainage Gr. Denkte	Nördlich des Kleingärtner- vereins Gr. Denkte, südlich des Bahndamms	<i>s ?</i>	A1
M93	Drainage	Drainage SE M88	Salzwasserdrainage		A1
M94	Drainage	Drainage SE M88			A1
M95	Drainage	Drainage SE M88			A1
M97	Drainage	Drainage SE M88			A1
M98	Drainage	Drainage SE M88			A1
M100	Drainage	Drainage SE M88			A1
M100a	Quelle	Quelle in Drain. M100			A1
M101	Salzwasserdrainage	Salzwasserdrainage, S Bleier Weg	[GSF 1994]: 1988 gebaut, seit 1990 nahezu trocken	<i>s/z</i>	B1
M102	Quelle	Quelle der Osterbeek, E Klein Vahlberg	In Drainage Quellaustritt nicht auszumachen	<i>q</i>	D
M103	Brunnen	Brunnen SW Meescheberg		<i>km</i>	D
M107	Quelle o. Drainage	Quelle oder Drainage, SE Wittmar		<i>kro/kru</i>	C3
M108	Quelle o. Drainage	Quelle oder Drainage, NE Remlingen		<i>q/ko</i>	C4
M109	Quelle/Feuchtstelle	Quelle/Feuchtstelle NW Mönchevahlberg		<i>ku</i>	A2
M110	GW-Aufbruch o. Stauwasserteich	Feuchtbiotop (Teich) zwischen H3 und M10, N Watzenberg	Wasserherkunft nicht geklärt	<i>so</i>	A2
M111	GW-Aufbruch (Teich)	Teich, NE H22, N Rot- henberg		<i>sm/so</i>	A2
M112	Teich	Teich, NW H9, E Witt- mar, Wittmarhorn	Wenig wasserführend	<i>ko/ju</i>	C3



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 410 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. A.4: Fortsetzung (Seite 7 von 9).

Messstelle ⁽¹⁾	Messstellenart	Bezeichnung, Örtlichkeit	Bemerkung	Geologie	Teilgebiet ⁽²⁾
M200V	Vorfluter	Neindorfer Bach			A5
M201aV	Vorfluter	Einmündung Hasselbeek in Altenau			A5
M201V	Vorfluter	Vorfluter Altenau			A5
M202V	Vorfluter	Vorfluter Altenau			A5
M203aV	Vorfluter	Vorfluter Einmün. Hachumer Bach in Altenau			A5
M203V	Vorfluter	Vorfluter Altenau			A5
M204V	Vorfluter	Vorfluter Altenau			A5
M205V	Vorfluter	Vorfluter Altenau			A5
M206aV	Vorfluter	Vorfluter Einmün. Bleier Graben in Altenau			A5
M206V	Vorfluter	Vorfluter Altenau			A5
M207V	Vorfluter	Vorfluter Einmündung Rothebach in Altenau			A5
M207aV	Vorfluter	Vorfluter Rothebach			C5
M208V	Vorfluter	Vorfluter Rothebach			C5
M209V	Vorfluter	Vorfluter Rothebach			C5
M210V	Vorfluter	Vorfluter Wippe	Oft trocken		C5
M211V	Vorfluter	Vorfluter Rothebach			C5
M212V	Vorfluter	Vorfluter Gr. Graben			C5
M300	Quelle u./o. Drainage	Quelle und Drainage an der „Hohen Leiter“ W Düwelteich, N Ührde		Grenze sm/so	D
M301	Quelle	Quelle N Ührde		q/Tertiär	D
M302	Teichüberlauf	Teichüberlauf SE Watzum		q (Tertiär)	D
M303	Vorfluter	SW Vorfluter „Ostbach“ (= Schmaler Bach), S Bahnübergang Barnstorf			D
M304	Vorfluter	NE Vorfluter Soltau, S Bahnübergang Barnstorf			D
M305a	Salzwasserquelle	Salzwasserquelle zwischen Barnstorf und Watenstedt		Störung su/m	E
M305b	Salzwasserquelle	Salzwasserquelle zwischen Barnstorf und Watenstedt		Störung su/m	E



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 411 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. A.4: Fortsetzung (Seite 8 von 9).

Messstelle ⁽¹⁾	Messstellenart	Bezeichnung, Örtlichkeit	Bemerkung	Geologie	Teilgebiet ⁽²⁾
M306	Quelle	Quellen „Tünnöckeborn“, SW Rocklum			C5
M306a	Drainage	Drainage unterhalb Tünnöckeborn, SW Rocklum			C5
M306b	Vorfluter	Vorfluter unterhalb Tünnöckeborn, SW Rocklum			C5
M306c	Vorfluter	Vorfluter oberhalb Tünnöckeborn, SW Rocklum			C5
M307	Quelle/Drainage	Quelle SSE Berklingen	Nicht genau geklärt ob Quelle oder Drainage; die Geologie „q“ erscheint wg. der hohen Leitfähigkeit als unwahrscheinlich	<i>q</i>	D
M308	Quelle	Quelle ESE Neindorf		<i>mu</i>	C6
M309	Quelle u. Drainage	Quelle und Drainage am NE-Rand des Öselbergs		<i>q</i>	C6
M309a	Quellablauf	Quellablauf E M309 am NE-Rand des Öselbergs			C6
M310	Quelle	Quelle NE Uehrde		<i>Störung mu/mm</i>	D
M311	Quelle	„Abendquelle“ SE He-deper			C5
M312	Vorfluter	Wiesengraben W Barnstorf			D
M313a	Vorfluter	Vorfluter Soltau W Watenstedt, vor Zufluss der Soltauquelle			D
M313b	Vorfluter	Vorfluter Soltau W Watenstedt, nach Zufluss der Soltauquelle	Neu aufgenommen		D
M314	Vorfluter	Vorfluter am „Pfungstanger“			C5
M315	Vorfluter	Schiffgraben West, N Hornburg			C5
M315a	Vorfluter	Schiffgraben, N Hornburg			C5
M315b	Vorfluter	Neuer Graben oberhalb Schiffgraben, N Hornburg, Zieselbacheinmündung			C5



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 412 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. A.4: Fortsetzung (Seite 9 von 9).

Messstelle ⁽¹⁾	Messstellenart	Bezeichnung, Örtlichkeit	Bemerkung	Geologie	Teilgebiet ⁽²⁾
M316	Vorfluter	Hellebach, S Kalme, am Herzberg			C5
M316b	Sammelschacht/ Brunnen?	Als „Kaiserquelle“ bezeichneter Brunnen am Quellaustritt Hel- lebach, S Kalme, am Herzberg	Neu aufgenommen		C5
M317	Vorfluter	Hasenbeek, E Börs- sum			C5
M318	Vorfluter	Großer Graben, W Kissenbrück			C5
M319	Vorfluter	Vorfluter Papenkamp/ Bruchanger			C6
M400	Quelle	Quelle im Wald Klein Vahlberger Buchen (W Klein Vahlberg)	Neu aufgenommen		N
M401	Vorfluter	Ammerbeek, Austritt des östlichen Arms, N Remlingen	Neu aufgenommen		C4-N
M402	Quelle	„Behrquelle“, Quell- austritt N dem Was- serbehälter auf Acker	Neu aufgenommen		N
M403	Quelle	Quelle im Quellgebiet des Rothebachs nordöstlich M10	Neu aufgenommen		N
M404a	Brunnen	Brunnen 1 im Quell- gebiet Rothebach	Neu aufgenommen; Brunnen- einhausung beschädigt; ge- samte Anlage verfallen		N
M404b	Brunnen	Brunnen 2 im Quell- gebiet Rothebach	neu aufgenommen; gesamte Anlage verfallen		N
M405	Staunässe/Quelle	Staunässe/Quelle zwischen M48 u. M57	neu aufgenommen		N
M406	Quelle	Quelle/Teich zwischen M57 und H14	Neu aufgenommen		N
M407	Teich/-überlauf	Teich zw. H25 u. H21	Neu aufgenommen		N
M408	Zisterne	Alte Zisterne Schacht Asse 1			N

⁽¹⁾ M1, M45 (= Schacht Asse I) und M64 (=Schacht Asse III) hier nicht aufgeführt (siehe Kap. 3).

⁽²⁾ Gebiete und Teilgebiet nach [Colenco 2006]:

A: Nordostflanke des Asse-Höhenzuges. A1: Gr. Denkte, A2: Gr. Denkte bis Gr. Vahlberg, A3: Talung südlich von Gr. Vahlberg, A4: Vahlberger Abschnitte und A5: Schöppenstedter Mulde.

B: Südliches Längstal mit verstütztem Deckgebirge. B1: Gr. Denkte; B2: Gr. Denkte bis Schacht Asse 2.

C: SW-Flanke des Asse-Höhenzuges. C1: Gr. Denkte, C2: Quertal von Wittmar, C3: SW-Flanke zwischen den Quertälern Wittmar und Ammerbeek, C4: Quertal der Ammerbeek und SW Flanke N von Remlingen, C5: Remlinger Mulde und C6: Salzstock Neindorf.

D: Ührder Abschnitt und E: Heeseberg.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 413 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. A.5: Lokalität der M-Messstellen des Asse-Höhenzuges und der umliegenden Gebiete nach [GSF 1994] und [Seidel 2011a].

Mess- stelle ⁽¹⁾	Messstellenart	Koordinaten [GSF 1994]			Koordinaten [Seidel 2011a]			Differenz [Seidel 2011a – GSF 1994]	
		R-Wert	H-Wert	Höhe	R-Wert	H-Wert	Höhe	Abstand	Höhe
		44..	57..	(mNN)	44..	57..	(mNN)	(m)	(m)
M0	Vorfluter	..05599	..80096	109,16					
M2	Quelle	..10037	..77957	166,37	..10034	..77944	176	13,3	9,63
M3	Quellzulauf des Wasserbehälters	..10220	..78050	150			146		-4
M3b	Wasserbehälter	..10220	..78050	150			146		-4
M4	Quelle	..10360	..77970	155	10350	..77976	165	11,7	10
M5	Vorfluter	..11050	..78180	127	11062	..78191	126	16,3	-1
M6	Quelle	..11214	..77473	156,31	11214	..77521	160	48	3,69
M7, M7a	Vorfluter	..09830	..76880	148	..09835	..76888	146	9,4	-2
M8a	Vorfluter	..09330	..76730	144	..09341	..76742	143	16,3	-1
M8b	Vorfluter	..09330	..76730	144	..09345	..76744	143	20,5	-1
M9	Brunnen	..09605	..75970	133,1					
M10	Quelle	..08200	..79210	180	..08225	..79163	140	53,2	-40
M10a	Wasserleitung	..07860	..79210	160					
M10b	Quelle				..08248	..79171	142		
M11	Vorfluter	..07950	..78940	165	..07979	..78938	167	29,1	2
M12	Brunnen	..07202	..78399	125,21	..07204	..78395		4,5	
M13	Drain. o. Quelle	..06054	..80041	121,13	..06052	..80030	118	11,2	-3,13
M13a	Drain. o. Quelle	..06040	..80040	120	..06050	..80034	118	11,7	-2
M14	Quelle	..05829	..79776	126,21	..05904	..79787	136	75,8	9,79
M15	Quelle	..05815	..79789	123,44	..05807	..79778	107	13,6	-16,44
M16	Quelle	..05930	..80510	130	..05929	..80531	128	21	-2
M17	Quelle mit Brun- nenanlage	..05980	..80530	134	..05986	..80571	142	41,4	8
M17a-c	Brunnenanlage der Quelle M17				..05986	..80571	142		
M18	Quelle	..06129	..80551	140,39	..06129	..80555	132	4	-8,39
M18a	Vorfluter	..06119	..80542	141,76					
M19	Vorfluter	..05787	..80477	121,14	..05804	..80481	117	17,5	-4,14
M19a ⁽²⁾	Brunnen	..05700	..80630	115	..05783	..80480	117	153	2
M20	Quelle	..06015	..80786	127,74	..06016	..80788	121	2,2	-6,74
M20a+c	Quellen	..06010	..80788	125			118		-7
M20b	Quelle				..05966	..80821	114		



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 414 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. A.5: Fortsetzung (Seite 2 von 6).

Mess- stelle ⁽¹⁾	Messstellenart	Koordinaten [GSF 1994]			Koordinaten [Seidel 2011a]			Differenz [Seidel 2011a – GSF 1994]	
		R-Wert	H-Wert	Höhe	R-Wert	H-Wert	Höhe	Abstand	Höhe
		44..	57..	(mNN)	44..	57..	(mNN)	(m)	(m)
M21	Quelle	..06119	..80896	130,47	..06130	..80910	130	17,8	-0,47
M22	Quellen	..06320	..81070	110	..06392	..81024	112	85,4	2
M22a	Quelle	..06418	..81022	119	..06418	..81022	119	–	–
M23	Brunnen	..08880	..79940	110					
M24	Salzwasserquelle	..05600	..80290	116					
M25	Vorfluter	..07394	..78699	138,4	..07410	..78692	139	17,5	0,6
M26	Quelle	..05817	..80313	121,46	..05902	..80233	106	116,7	-15,46
M26-S⁽²⁾	Drainagefassung	..05698	..81625	116	..05902	..80233	106	1406,9	-10
M27	Quellüberlauf	..05860	..80400	126					
M28	Quelle	..06395	..81027	123,51	..06325	..81075	119	84,9	-4,51
M29	Drainage (evtl. Quelle)	..10055	..78889	124,55	..10063	..78873	138	17,9	13,45
M30	Drainage	..10649	..78588	119,09	..10655	..78589	123	6,1	3,91
M31	Salzwasser- drainage	..05680	..80090	115					
M31a	Vorfl. o. Drainage	..05712	..80085	112					
M31b	Vorfluter	..05722	..80083	113					
M32	Brunnen	..06220	..80860	145					
M32a	Brunnen	..06180	..80880	140					
M33ff	Sumpfquellen	..06815	..81375	91,5	..06812	..81356	99	19,2	7,5
M34	Quelle	..07260	..78560	132					
M35	Vorfluter	..10646	..78571	120,51	..10645	..78577	125	6,1	4,49
M36	Quelle	..06324	..80937	131,4	..06320	..80940	131,4	5	–
M37	Brunnen	..05531	..77208	103,96					
M38	Quelle	..05433	..76674	91,11					
M39	Quelle	..05553	..76464	91,15					
M40	Quelle	..08830	..79940	106	..08818	..79908	118	34,2	12
M40/1-4	Brunnen	..08740	..79850	110					
M41	Vorfluter	..09567	..79553	111,34	..09567	..79548	112	5	0,66
M41a	Drainage	..09550	..79520	113	..09548	..79527	113	7,3	–
M42	Drainage	..11050	..78180	127					
M43	Quelle	..10000	..77132	155,68	..10000	..77132	155		-0,68
M44	Schacht	..09054	..78172	192,5					
M46	Quelle	..10320	..78020	150	..10314	..78036	157	17,1	7
M48	Quelle	..08397	..78393	198,53	..08480	..78382	204	83,7	5,47
M50	Quelle	..11043	..77684	154,27	..11036	..77677	151	9,9	-3,27



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 415 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. A.5: Fortsetzung (Seite 3 von 6).

Mess- stelle ⁽¹⁾	Messstellenart	Koordinaten [GSF 1994]			Koordinaten [Seidel 2011a]			Differenz [Seidel 2011a – GSF 1994]	
		R-Wert	H-Wert	Höhe	R-Wert	H-Wert	Höhe	Abstand	Höhe
		44..	57..	(mNN)	44..	57..	(mNN)	(m)	(m)
M51	Überlauf des WB der WV Gr. Vahlberg	..10331	..78100	144,23			151		
M52	Salzwasserquelle	..05460	..79930	105	..05415	..79988	106	73,4	1
M53	Quellüberlauf	..07320	..78620	135					
M54	Quelle	..07540	..78220	140	..07524	..78229	138	18,4	-2
M55a	Quelle	..10792	..76664	152,56	..10795	..76664	139	3	-13,56
M55-Q	Vorfluter				..10637	..76258	139		
M55	Quelle	..10276	..75978	133,3	..10280	..75979	128	4,1	-5,3
M56	Quelle	..07550	..78920	155					
M57	Brunnen	..07760	..78800	158	..07862	..78768	165	106,9	7
M57b	Wasserbehälter	..07760	..78800	158	..07862	..78768	165	106,9	7
M58	Brunnenanlage (Quelle)	..07810	..78150	155	..07816	..78131	141	19,9	-14
M59	Brunnen	..09475	..76800	157					
M60	Brunnen (Flachbr.) u. Überlauf	..09450	..76670	142	..09461	..76680	141	14,9	-1
M62	Brunnen	..09500	..76280	137					
M63	Salzwasserquelle	..05702	..80095	111,23	..05709	..80097	111	7,3	-0,23
M65	Wasserbehälter	..05835	..80395	134			126		-8
M66	Quelle	..10650	..78657	119,02	..10647	..78640	124	17,3	4,98
M67	Salzwasser- drainage	..05686	..80091	ca. 110					
M68	Salzwasserquelle o. -drainage	..05425	..80300	115					
M69	Drainage	..05560	..79940	ca. 106					
M70	Drainage	..05570	..79945	ca. 108					
M71	Drainage	..05580	..79950	ca. 110					
M72	Hausbrunnen	..06130	..79890	ca. 135					
M74	Drainage (Quelle?)	..10100	..78840	ca. 125					
M75	Vorfluter/Teich	..10140	..78860	125	..10133	..78874	136	15,7	11
M77	Quelle	..08215	..79944	140					
M80	Quelle o. Drain.	..11100	..77810	138,92	..11091	..77815	137	10,3	-1,92
M80a	Quelle o. Drain.				..11091	..77815	137		
M81	Salzwasser- drainage	..05702	..80080	ca. 113					



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 416 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. A.5: Fortsetzung (Seite 4 von 6).

Mess- stelle ⁽¹⁾	Messstellenart	Koordinaten [GSF 1994]			Koordinaten [Seidel 2011a]			Differenz [Seidel 2011a – GSF 1994]	
		R-Wert	H-Wert	Höhe	R-Wert	H-Wert	Höhe	Abstand	Höhe
		44..	57..	(mNN)	44..	57..	(mNN)	(m)	(m)
M82	Salzwasser- drainage	..05608	..80241	ca. 109	..05600	..80239		8,2	
M86	Vorfluter	..05818	..81057	97,69					
M87	Vorfluter	..06274	..81256						
M88	Vorfluter	..06513	..81324						
M88a	Drainage	..06553	..81250						
M89	Vorfluter	..09342	..76722		..09341	..76724	142	2,2	
M90	Vorfluter	..07590	..77717		..07559	..77732	128	34,4	
M91	Drainage	..07680	..77790		..07669	..77821	129	32,9	
M92	Drainage	..05721	..80337		..05721	..80337			
M93	Drainage	..06475	..81143						
M94	Drainage	..06410	..81120						
M95	Drainage	..06380	..81090						
M97	Drainage	..06300	..81130						
M98	Drainage	..06290	..81180						
M100	Drainage	..06520	..81160						
M100a	Quelle	..06550	..81180		..06570	..81129	100	54,8	
M101	Salzwasser- drainage	..05780	..80075	113					
M102	Quelle	..12090	..77590		..12084	..77601	153	12,5	
M103	Brunnen	..11450	..76820						
M107	Quelle o. Drainage	..08420	..77300		..08424	..77274	153	26,3	
M108	Quelle o. Drainage	..10400	..80150		..10403	..76891	159	3259	
M109	Quelle / Feucht- stelle	..07820	..80150		..07847	..80146	130	27,3	
M110	GW-Aufbruch o. Stauwasserteich	..08570	..78935	200	..08584	..78974	220	41,4	20
M111	GW-Aufbruch (Teich)	..07875	..79395	203	..07854	..79363	202	38,3	-1
M112	Teich	..07555	..78190	145	..07544	..78202	145	16,3	-
M200V	Vorfluter	..13249	..79115	98	..13254	..79114	91	5,1	-7
M201V	Vorfluter	..11405	..80039	92	..11400	..80047	88	9,4	-4
M201aV	Vorfluter				..11358	..80066	88		
M202V	Vorfluter	..10335	..80560	ca. 89					
M203V	Vorfluter	..08481	..81324	ca. 87					
M203aV	Vorfluter	..08482	..81325	ca. 88					



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 417 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. A.5: Fortsetzung (Seite 5 von 6).

Mess- stelle ⁽¹⁾	Messstellenart	Koordinaten [GSF 1994]			Koordinaten [Seidel 2011a]			Differenz [Seidel 2011a – GSF 1994]	
		R-Wert	H-Wert	Höhe	R-Wert	H-Wert	Höhe	Abstand	Höhe
		44..	57..	(mNN)	44..	57..	(mNN)	(m)	(m)
M204V	Vorfluter	..06960	..81810	ca. 85					
M205V	Vorfluter	..04638	..81339	ca. 83					
M206V	Vorfluter	..03704	..80701	82	..03710	..80716	78	16,2	-4
M206aV	Vorfluter	..03795	..80600	83	..03725	..80678	76	104,8	-7
M207V	Vorfluter	..02810	..78882	79					
M207aV	Vorfluter	..02885	..79982	80					
M208V	Vorfluter	..04294	..79280	86	..04292	..79273	82	7,3	-4
M209V	Vorfluter	..04685	..78534	91	..04701	..78503	83	34,9	-8
M210V	Vorfluter	..05565	..77182	105	..05560	..77180	107	5,4	2
M211V	Vorfluter	..06725	..78347	114	..06725	..78348	114	1	–
M212V	Vorfluter	..08205	..74780	102	..07991	..74663	105	243,9	3
M300	Quelle u./o. Drainage	..15195	..75549	127,08	..15205	..75551	128	10,2	0,92
M301	Quelle	..14739	..76814	129,87	..14738	..76811	127	3,2	-2,87
M302	Teichüberlauf	..16933	..76171	106,12					
M303	Vorfluter	..18470	..74671	97,04	..18478	..74661	102	12,8	4,96
M304	Vorfluter	..18483	..74672	96,2	..18484	..74679	102	7,1	5,8
M305a	Salzwasserquelle	..19350	..73582	92,57	..19354	..73568	92	14,6	-0,57
M305b	Salzwasserquelle	..19342	..73553	92,43	..19353	..73570	92	20,2	-0,43
M306	Quelle	..12873	..70432	98,83	..12866	..70421	91	13	-7,83
M306a	Drainage	..12868	..70425	99 ± 4					
M306b	Vorfluter	..12887	..70436	97 ± 3					
M306c	Vorfluter	..12882	..70436	97	..12857	..70425	92	27,3	-5
M307	Quelle/Drainage	..13518	..76772	145,88	..13528	..76781	145	13,5	-0,88
M308	Quelle	..03533	..77679	103,6	..03534	..77679	110	1	6,4
M309	Quelle u. Drain.	..04147	..78358	99,47	..04153	..78361	102	6,7	2,53
M309a	Quellablauf	..04460	..78368	91,02	..04463	..78366	85	3,6	-6,02
M310	Quelle	..15885	..74994	118,66	..15880	..74996	114	5,4	-4,66
M311	Quelle	..10967	..70345	89,6	..10966	..70346		1,4	
M312	Vorfluter	..17645	..74380	98,82	..17647	..74380	103	2	4,18
M313a	Vorfluter	..19336	..73554	92,67	..19344	..73545	88	12	-4,67
M313b	Vorfluter				..19363	..73528	88		
M314	Vorfluter	..10523	..69953	86,79	..10523	..70323	83	370	-3,79
M315 ⁽²⁾	Vorfluter	..04971	..68665	88,52	..05063	..68617	86	48	-2,52
M315a	Vorfluter	..05059	..68609	77 ± 8	..04977	..68668	83	101	–
M315b	Vorfluter	..05080	..68630	75	..05072	..68613	86	18,8	11



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 418 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. A.5: Fortsetzung (Seite 6 von 6).

Mess- stelle ⁽¹⁾	Messstellenart	Koordinaten [GSF 1994]			Koordinaten [Seidel 2011a]			Differenz [Seidel 2011a – GSF 1994]	
		R-Wert	H-Wert	Höhe	R-Wert	H-Wert	Höhe	Abstand	Höhe
		44..	57..	(mNN)	44..	57..	(mNN)	(m)	(m)
M316	Vorfluter	..07119	..71205	126 ± 8	..07114	..71206	124	5,1	–
M316b	Sammelschacht/ Brunnen?				..07121	..71203	124		
M317	Vorfluter	..04070	..71385	88,77	..04074	..71383	82	4,5	-6,77
M318	Vorfluter	..02938	..75941	81,49	..02957	..75934	83	20,2	1,51
M319	Vorfluter	..01755	..78925	88 ± 14					
M400	Quelle				..11089	..77642	154		
M401	Vorfluter				..09283	..77421	152		
M402	Quelle				..05849	..80396	126		
M403	Quelle				..08305	..79156	155		
M404a	Brunnen				..08319	..79151	153		
M404b	Brunnen				..08327	..79148	151		
M405	Staunäs- se/Quelle				..07845	..78658	191		
M406	Quelle				..07679	..78739	154		
M407	Teich/-überlauf				..06948	..79363	150		
M408	Zisterne				..08136	..78852	ca. 200		

⁽¹⁾ M1 (Schachtbrunnen), M45 (= SchachtASSE 1) und M64 (= SchachtASSE 3) hier nicht aufgeführt (siehe Kap. 3).

⁽²⁾ Koordinaten in [Seidel 2011a] mit offensichtlichem Übertragungsfehler, der hier jeweils korrigiert wurde.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 419 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

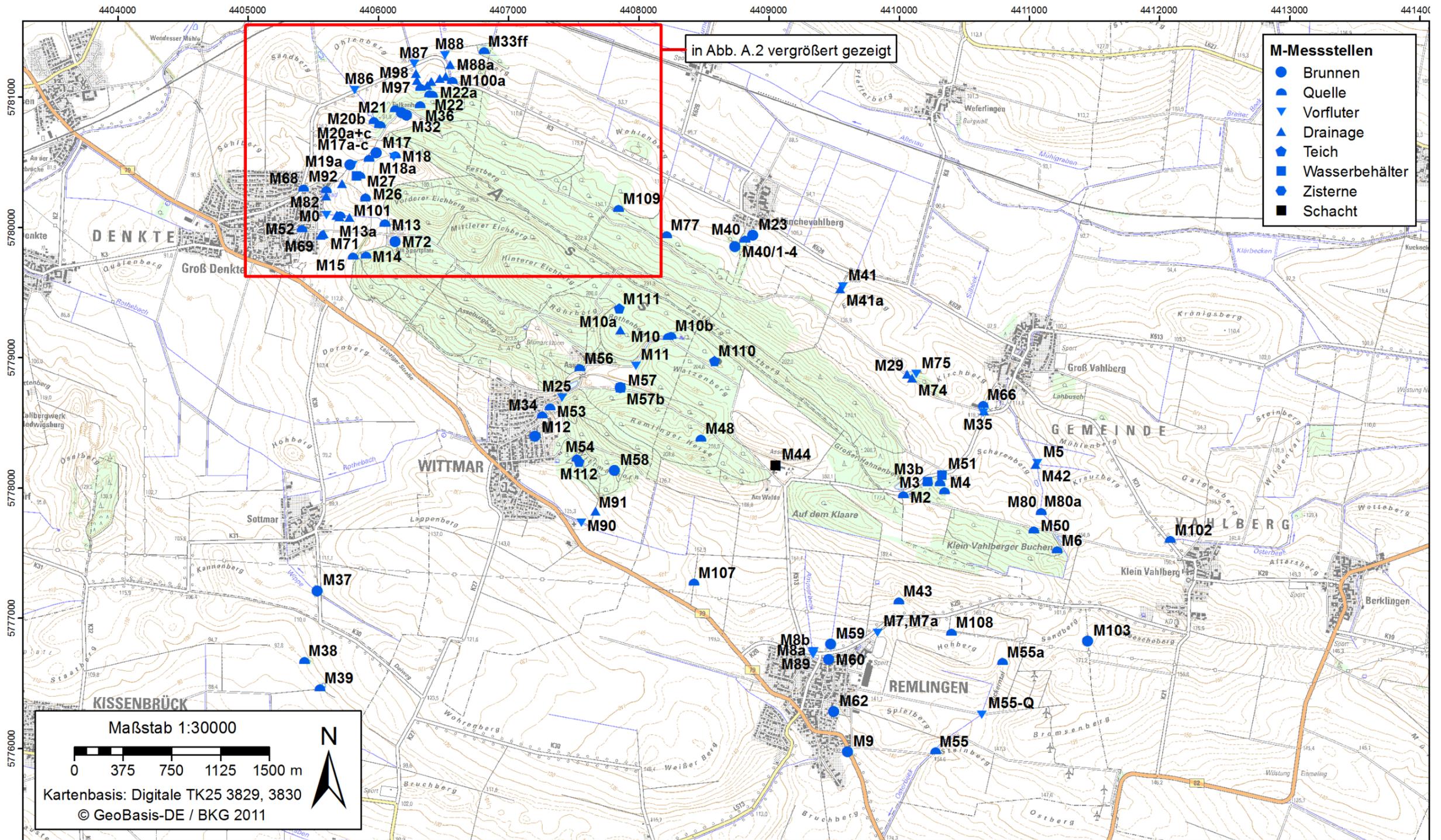


Abb. A.1: Lage der M-Messstellen M0 bis M112 auf dem Asse-Höhenzug (Datenbasis [Seidel 2011a]).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 420 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

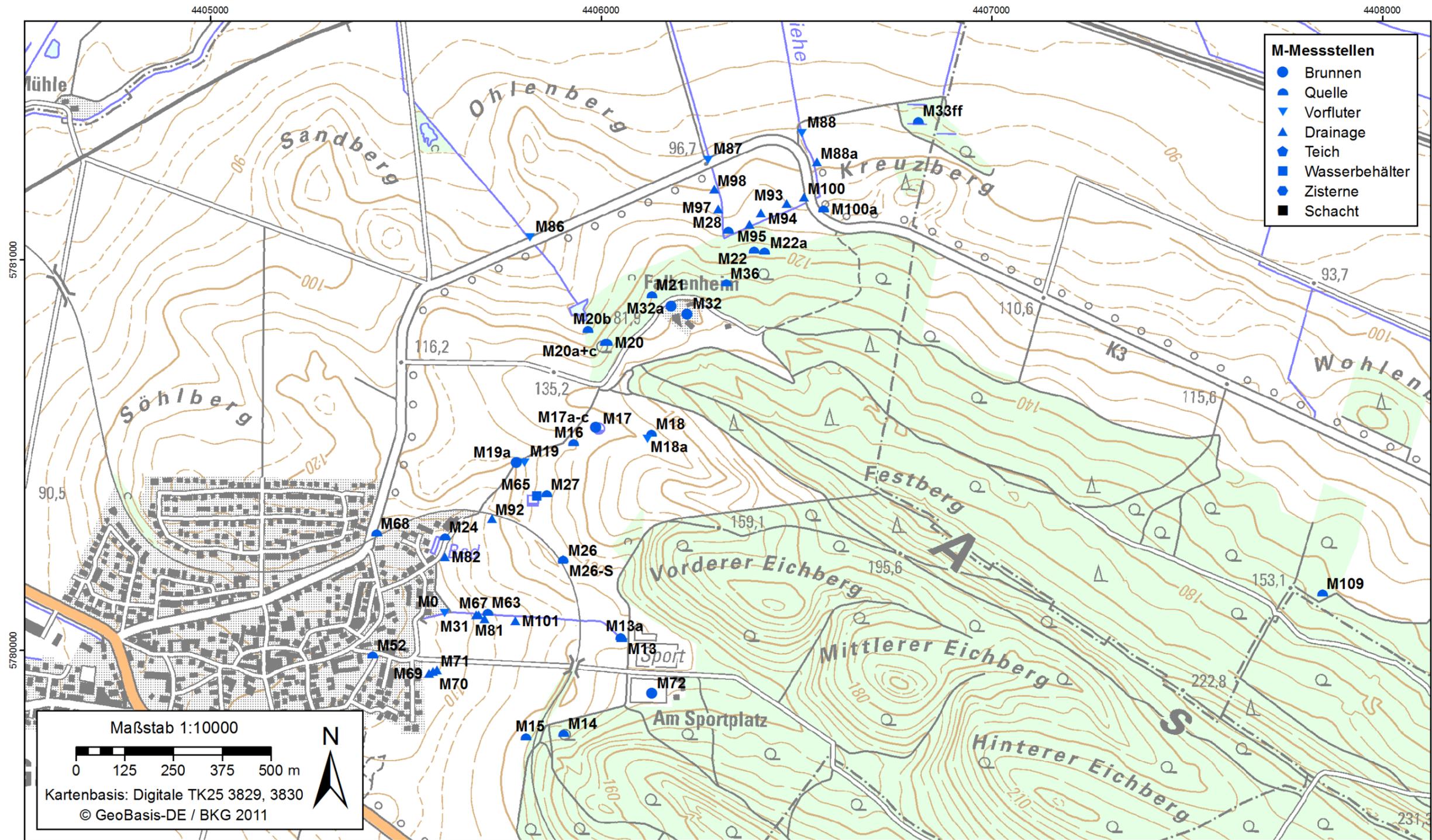


Abb. A.2: Lage der M-Messstellen M0 bis M101 auf dem Asse-Höhenzug (vergrößerter Ausschnitt aus Abb. A.1; Datenbasis [Seidel 2011a]). Die M-Messstellen M31a und M31b liegen nur wenige Meter östlich von M31 entlang des Bleier Grabens und wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 421 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

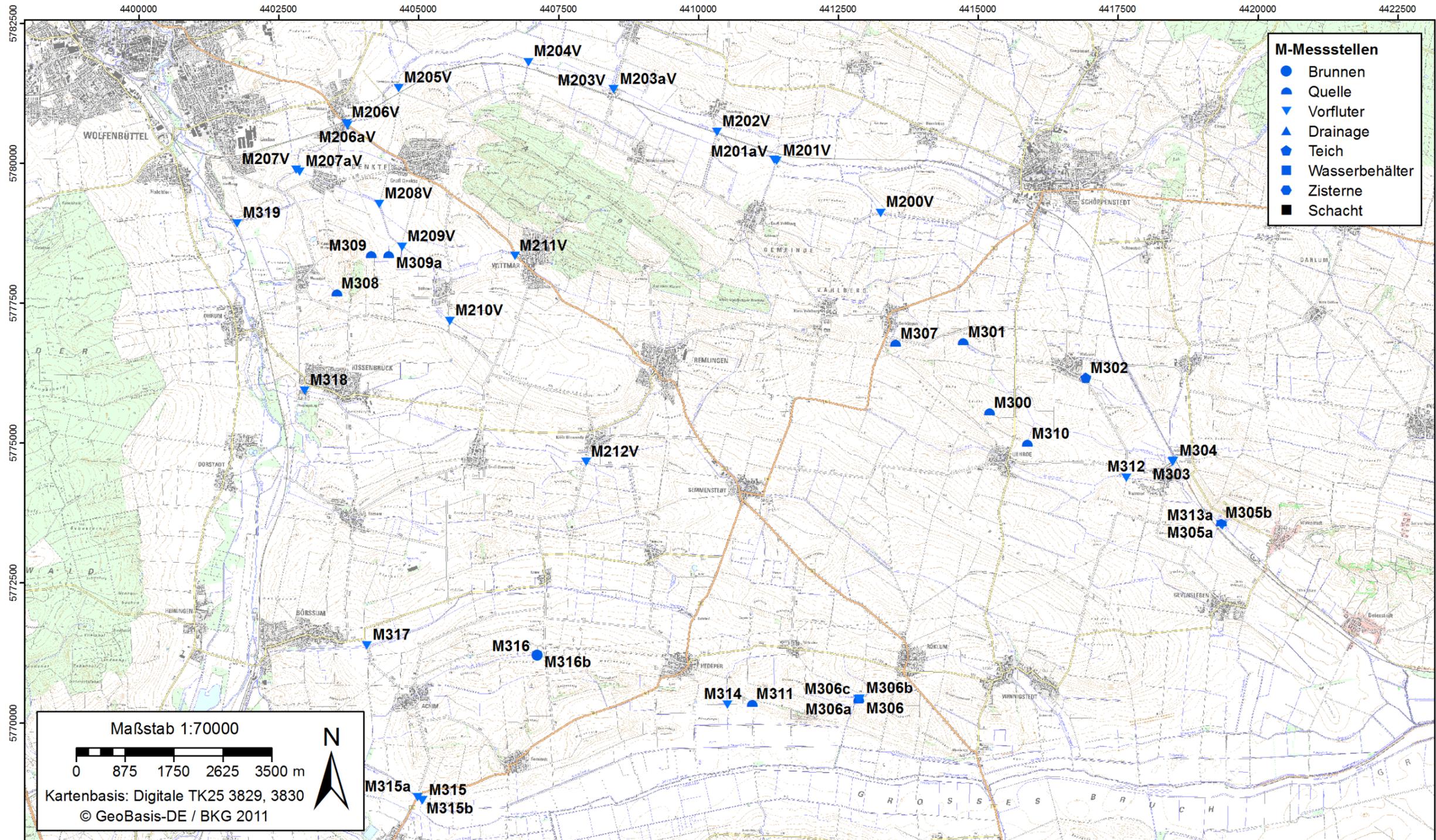


Abb. A.3: Lage der M-Messstellen M200V bis M319 auf dem Asse-Höhenzug (Datenbasis [Seidel 2011a]).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 422 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

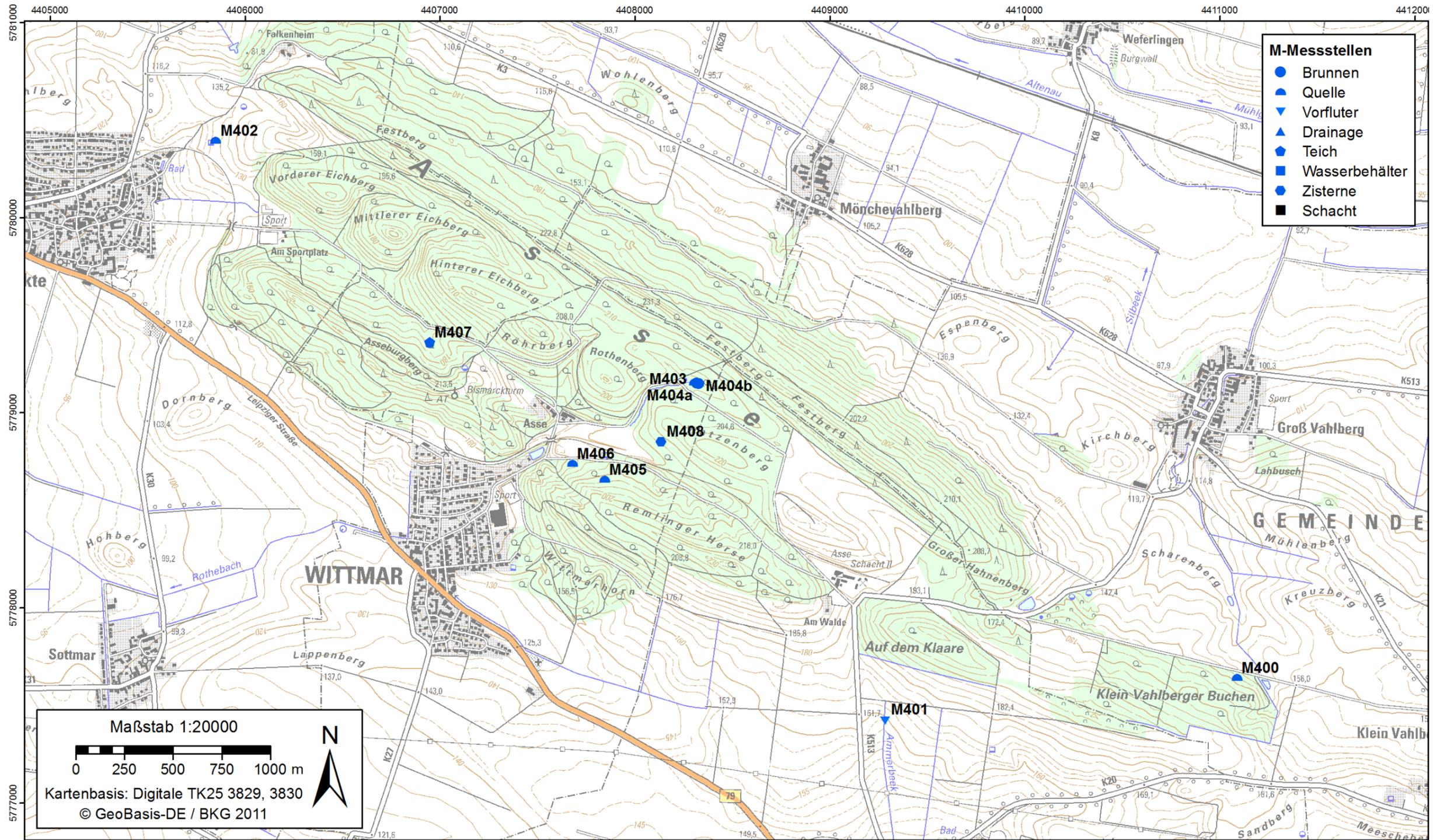


Abb. A.4: Lage der M-Messstellen M400 bis M408 auf dem Asse-Höhenzug (Datenbasis [Seidel 2011a]).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 423 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

ANHANG B: GANGLINIEN DER STANDROHRSPIEGELHÖHE

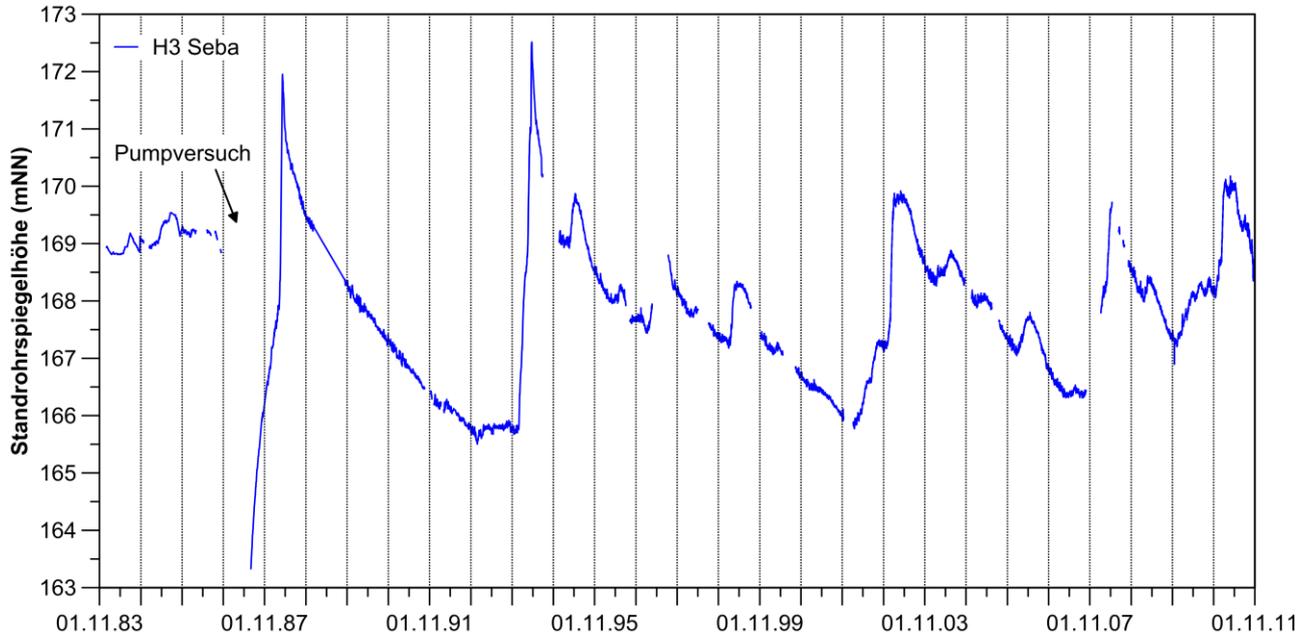


Abb. B.1: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H3 (su) für die hydrologischen Jahre 1983 bis 2011.

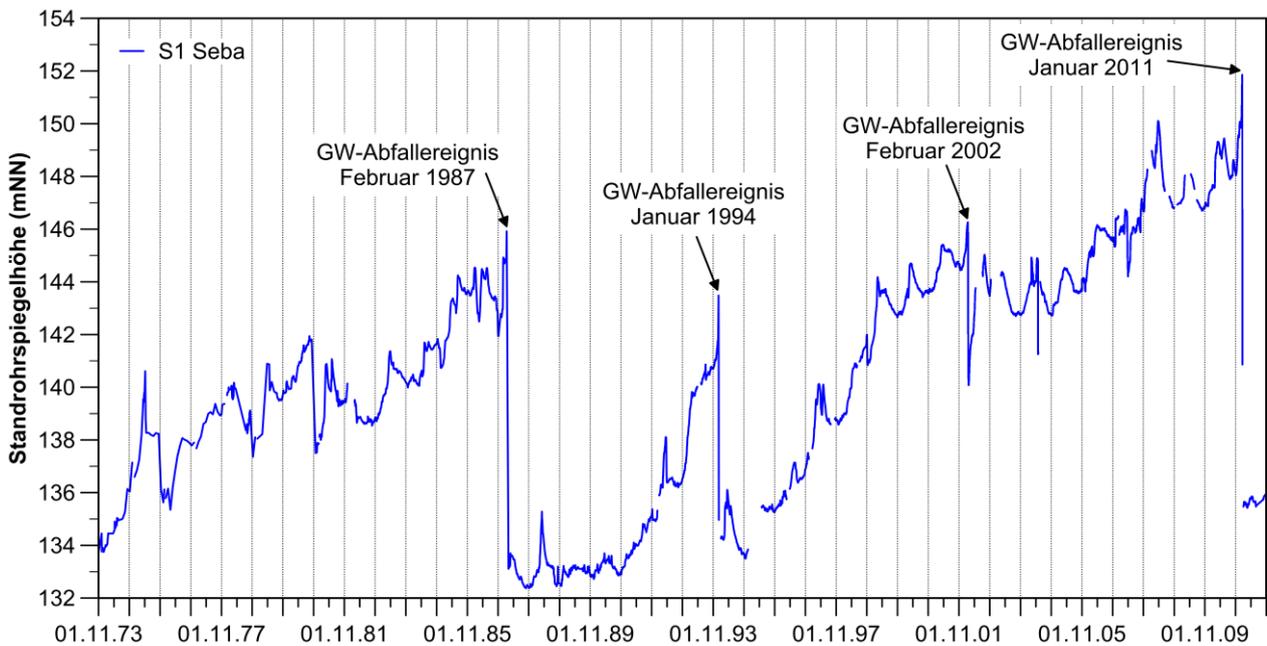


Abb. B.2: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in Schacht Asse 1 (su) für die hydrologischen Jahre 1983 bis 2011.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 424 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

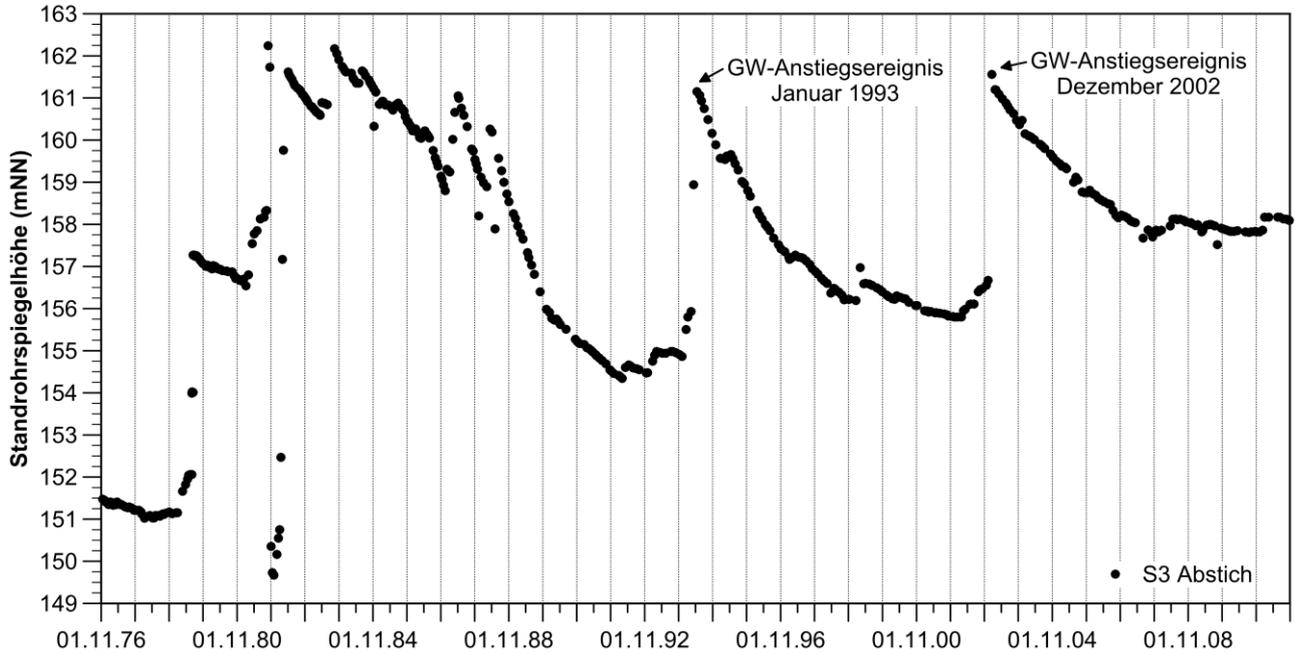


Abb. B.3: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Abstiche) in Schacht Asse 3 (su, z3r) für die hydrologischen Jahre 1976 bis 2011.

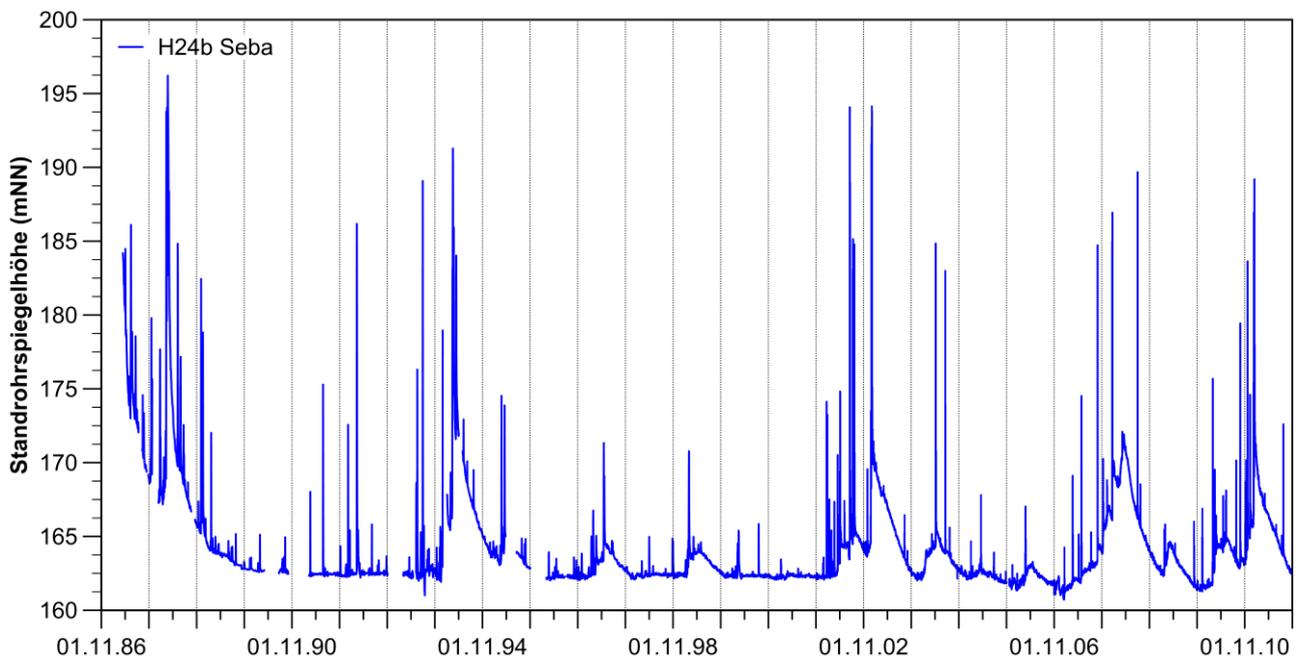


Abb. B.4: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H24b (so) für die hydrologischen Jahre 1987 bis 2011.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 425 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

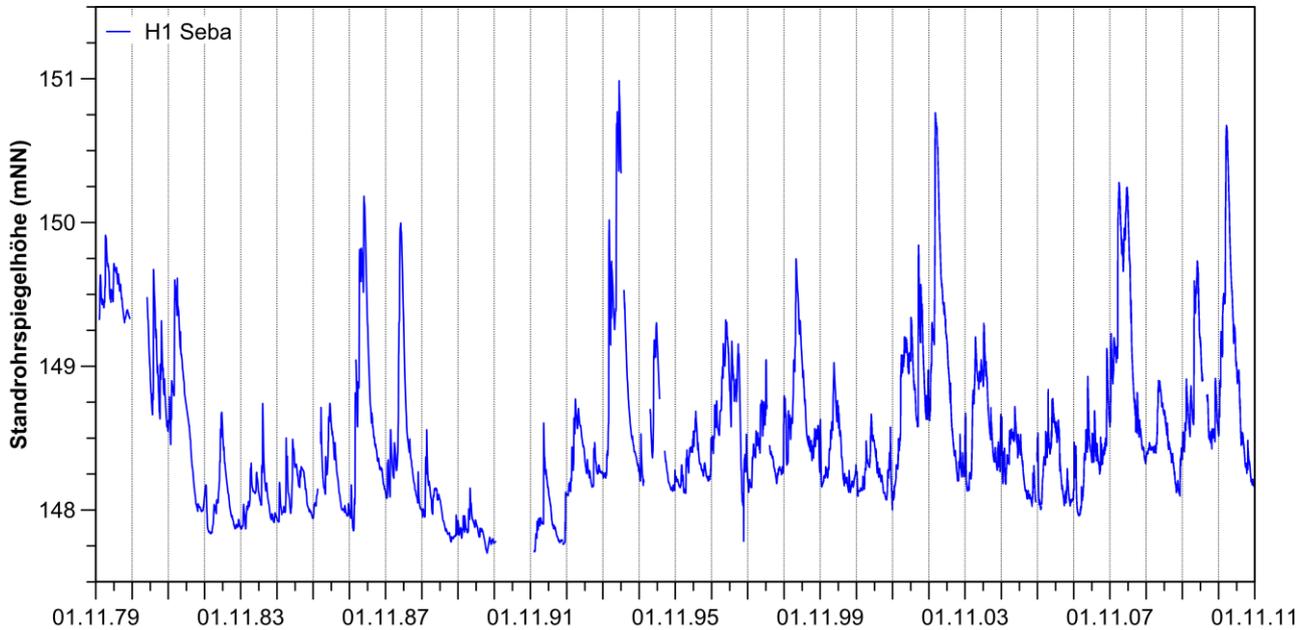


Abb. B.5: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H1 (*mu*) für die hydrologischen Jahre 1979 bis 2011.

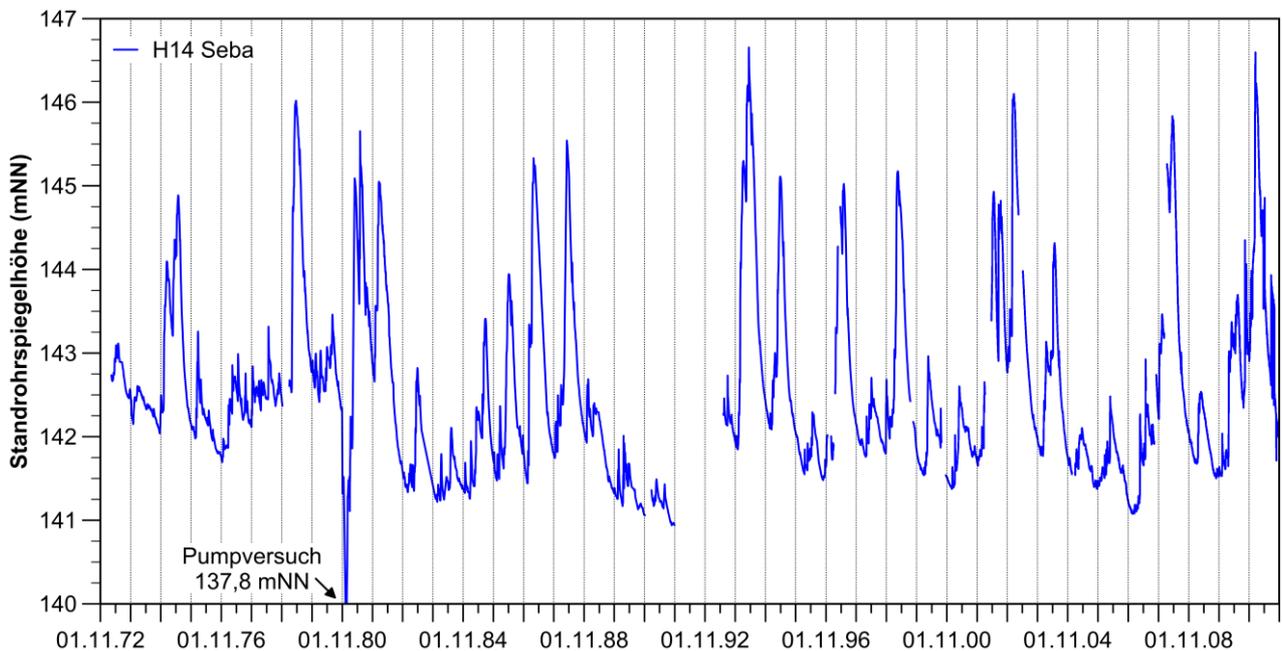


Abb. B.6: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H14 (*mu*) für die hydrologischen Jahre 1983 bis 2011.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 426 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

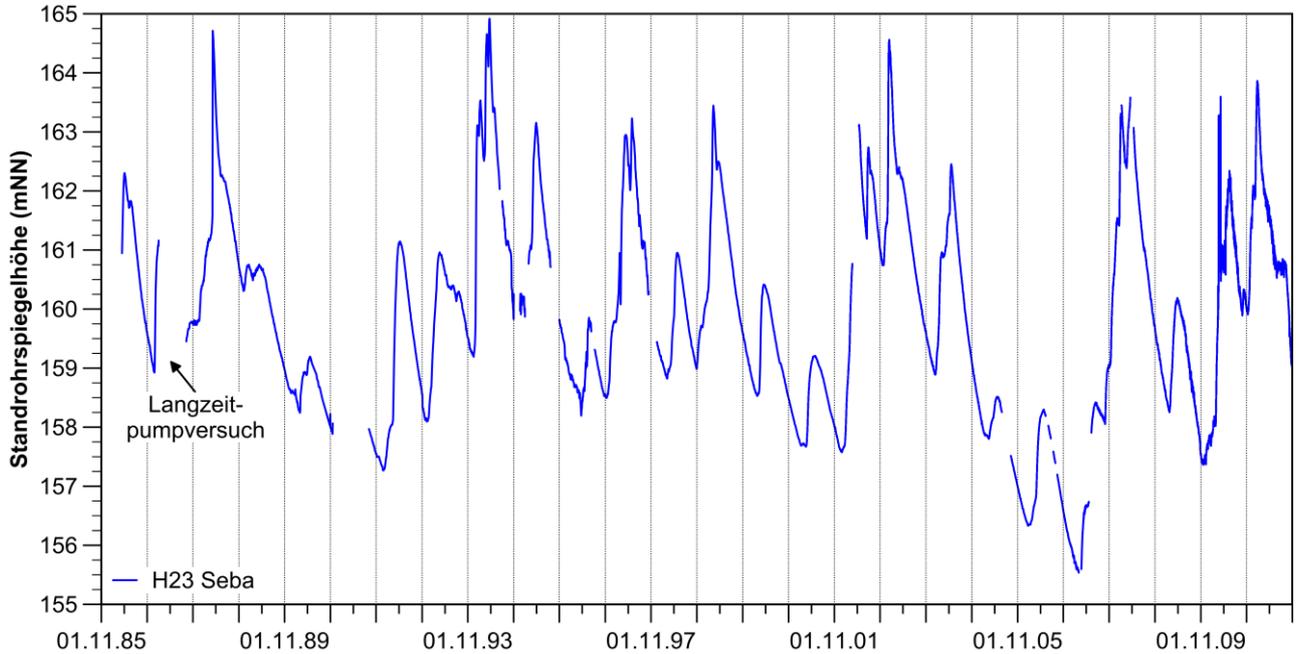


Abb. B.7: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H23 (*mu*) für die hydrologischen Jahre 1986 bis 2011.

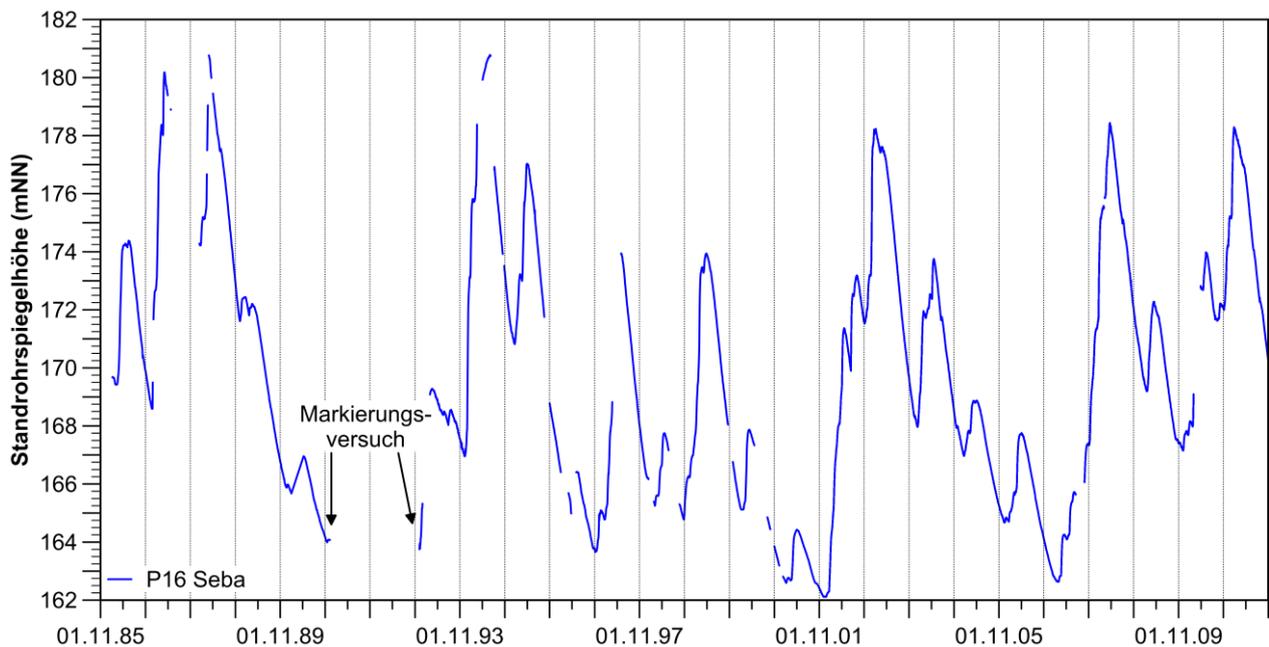


Abb. B.8: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM P16 (*mu*) für die hydrologischen Jahre 1986 bis 2011.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 427 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

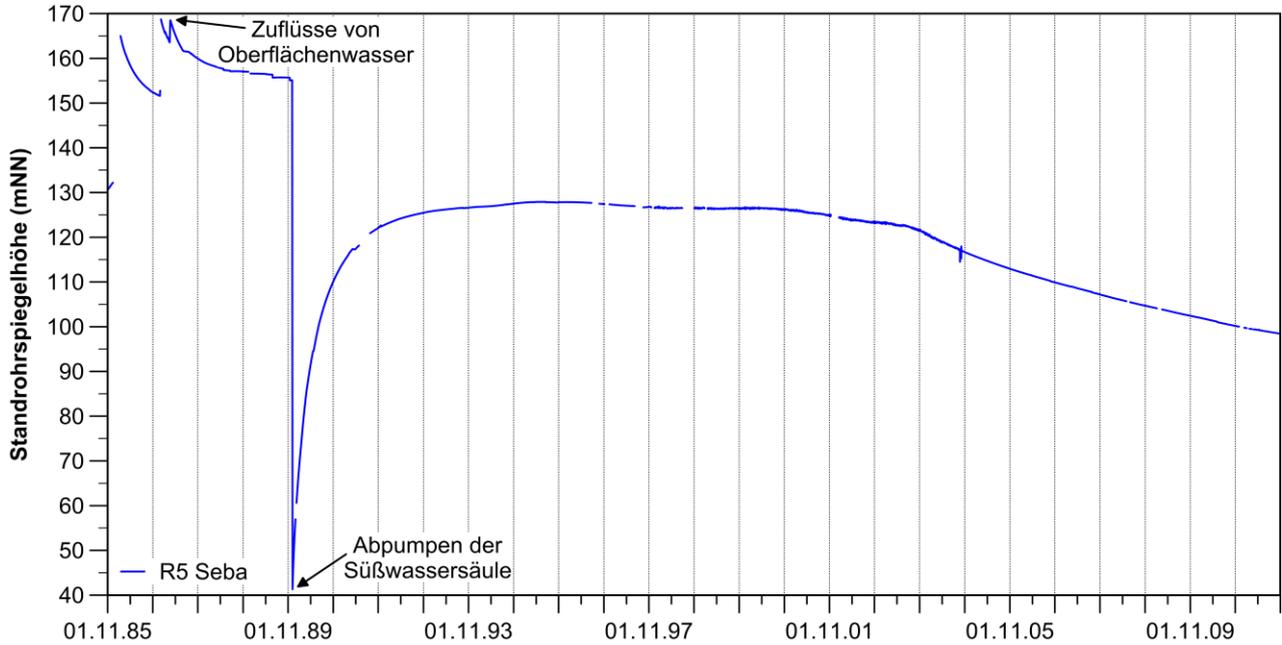


Abb. B.9: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM R5 (*mu*) für die hydrologischen Jahre 1986 bis 2011.

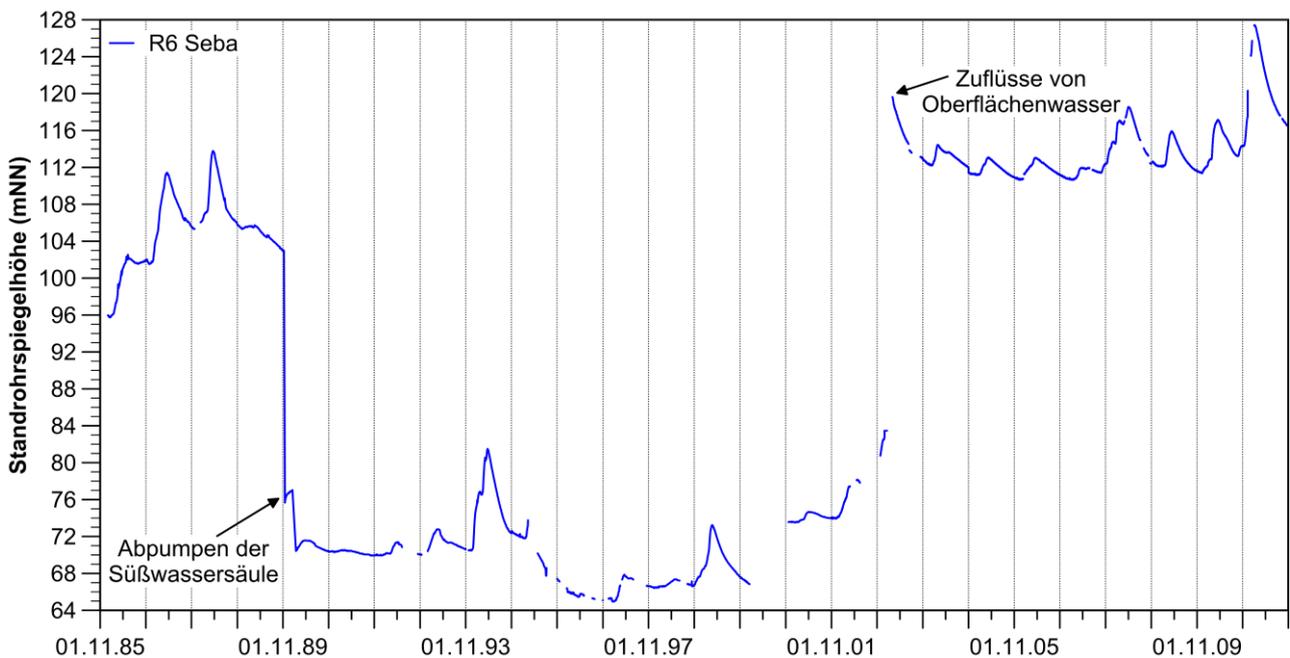


Abb. B.10: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM R6 (*mu*) für die hydrologischen Jahre 1986 bis 2011.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 428 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

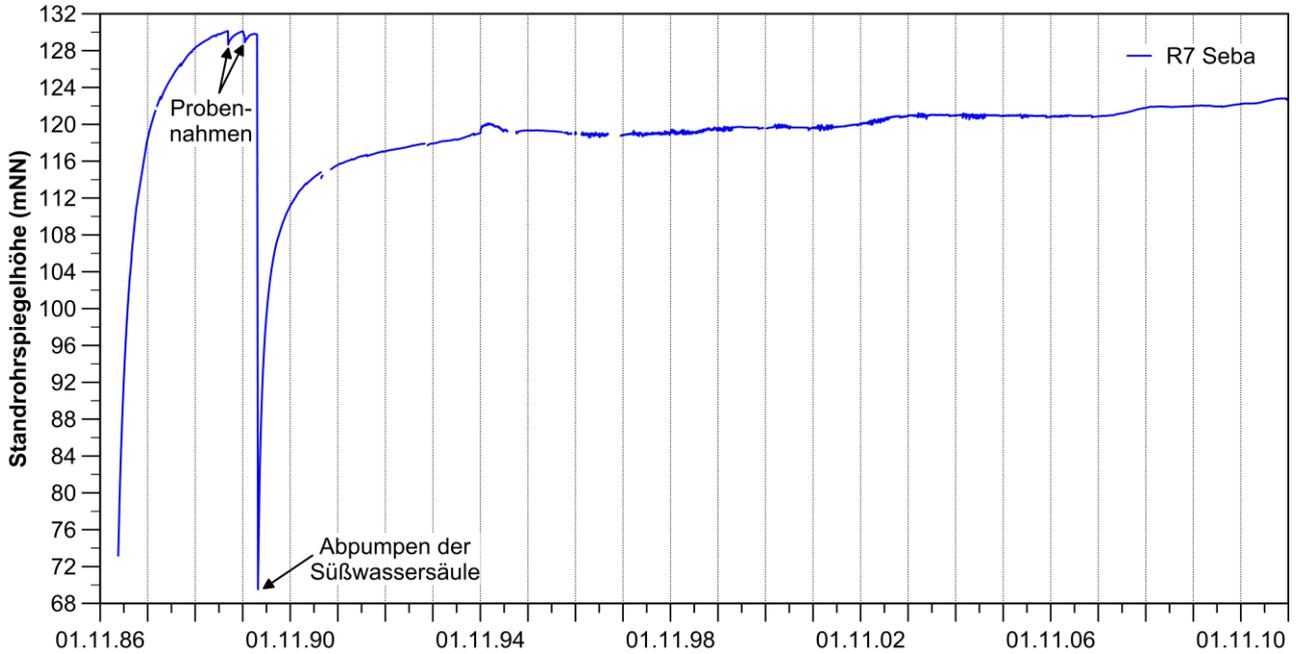


Abb. B.11: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM R7 (*mu*) für die hydrologischen Jahre 1987 bis 2011.

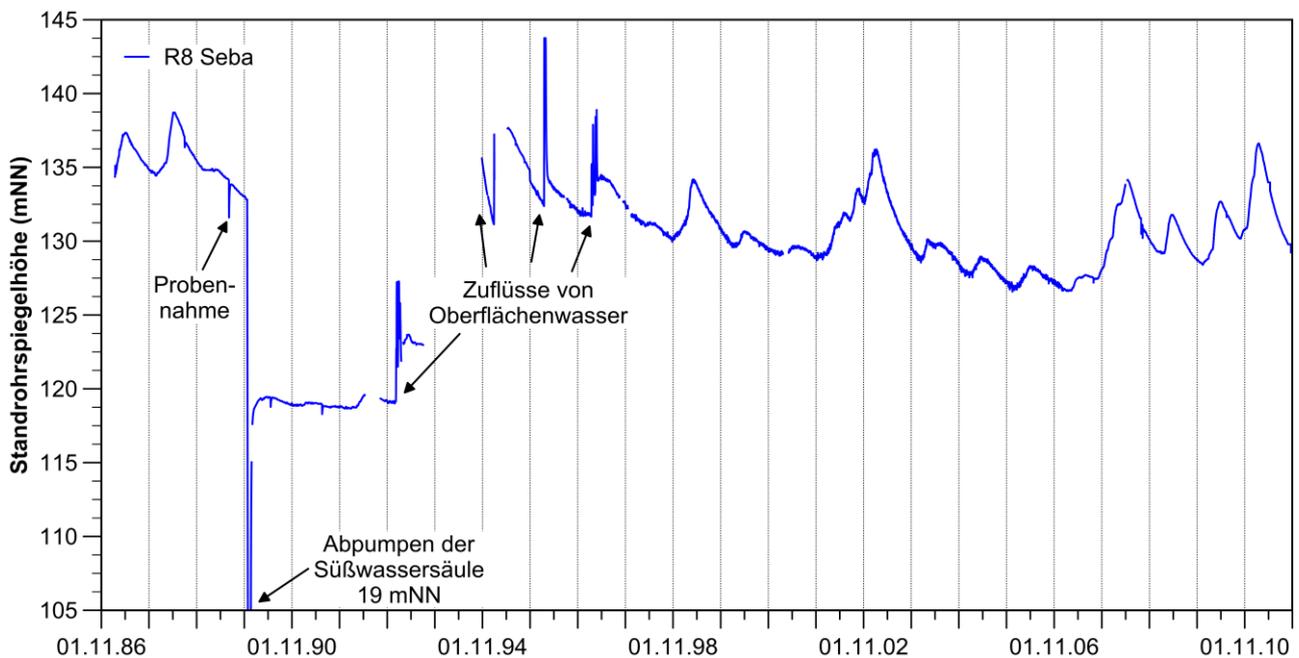


Abb. B.12: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM R8 (*mu*) für die hydrologischen Jahre 1987 bis 2011.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 429 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

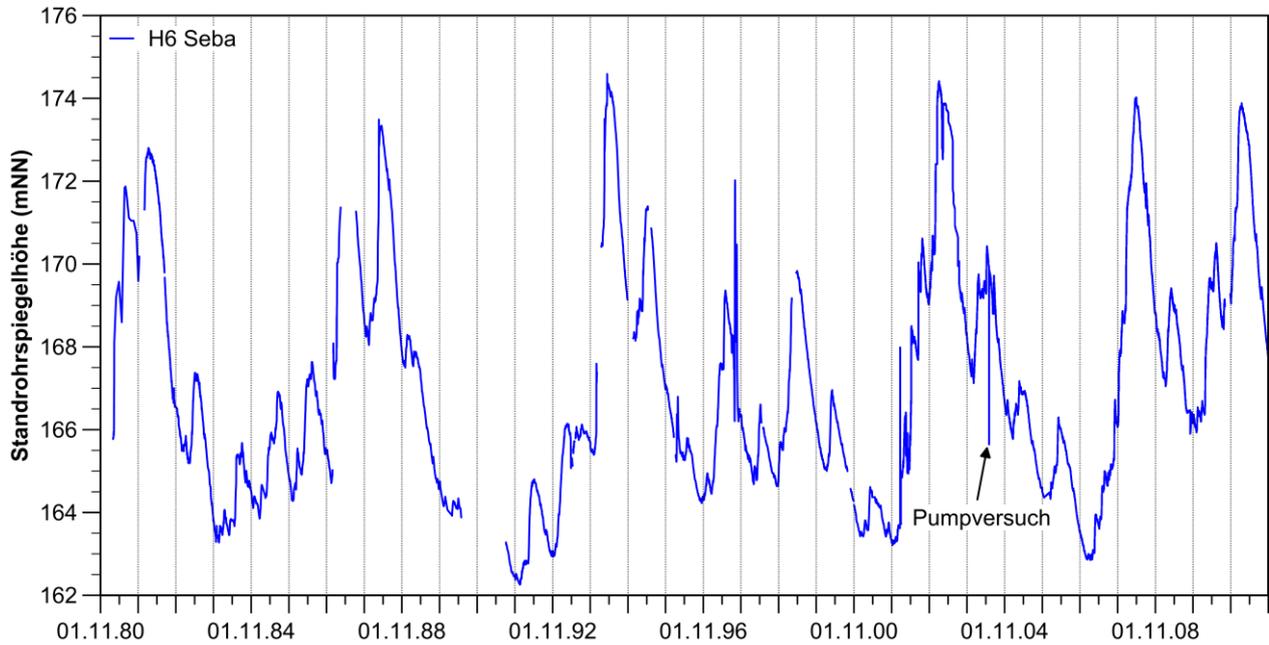


Abb. B.13: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H6 (mm) für die hydrologischen Jahre 1981 bis 2011.

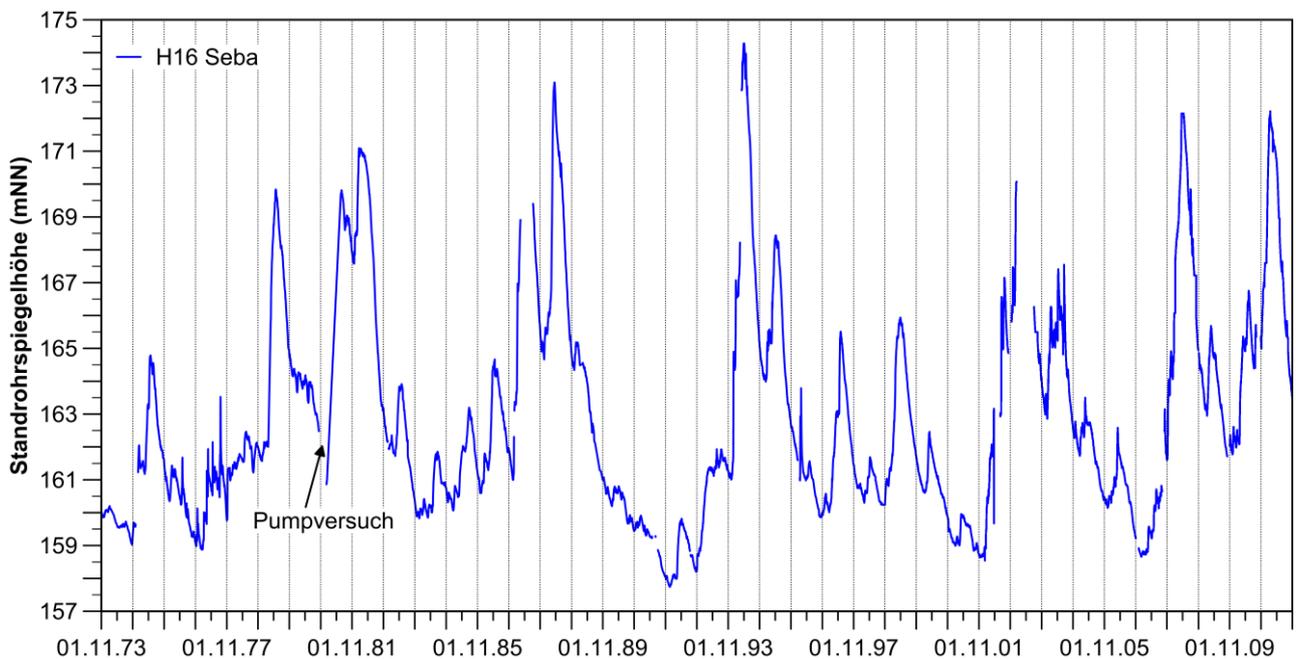


Abb. B.14: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H16 (mm) für die hydrologischen Jahre 1973 bis 2011.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 430 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

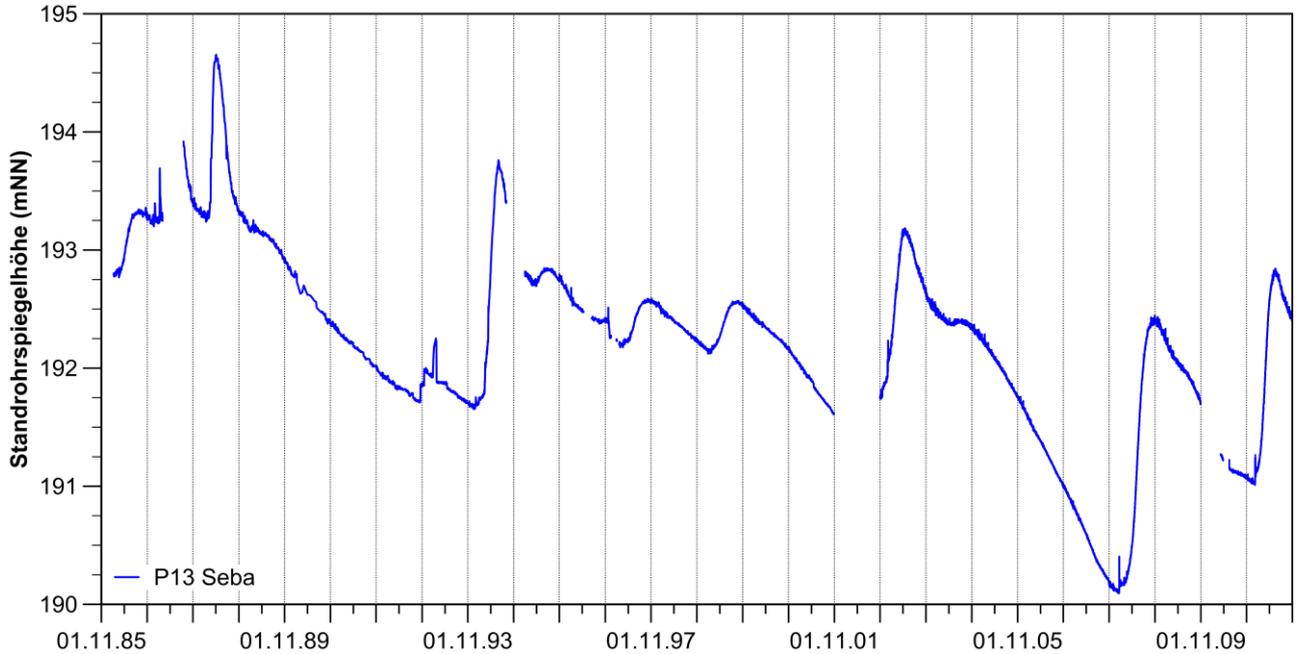


Abb. B.15: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM P13 (mm, so) für die hydrologischen Jahre 1986 bis 2011.

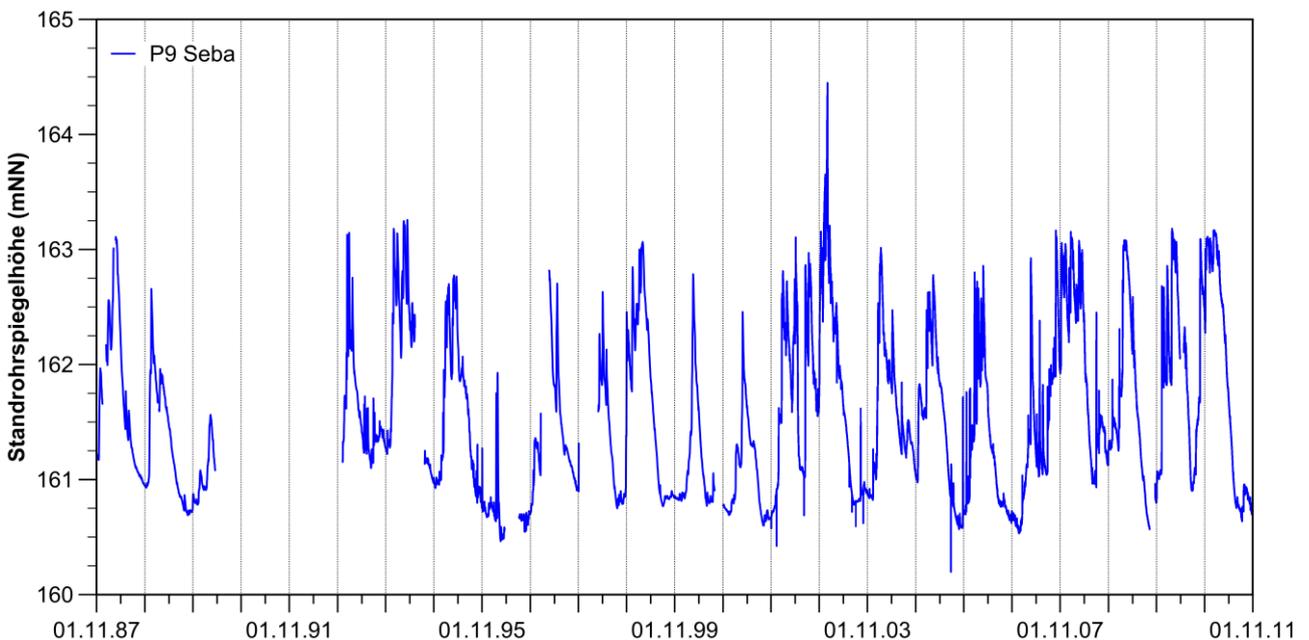


Abb. B.16: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM P9 (km) für die hydrologischen Jahre 1987 bis 2011.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 431 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

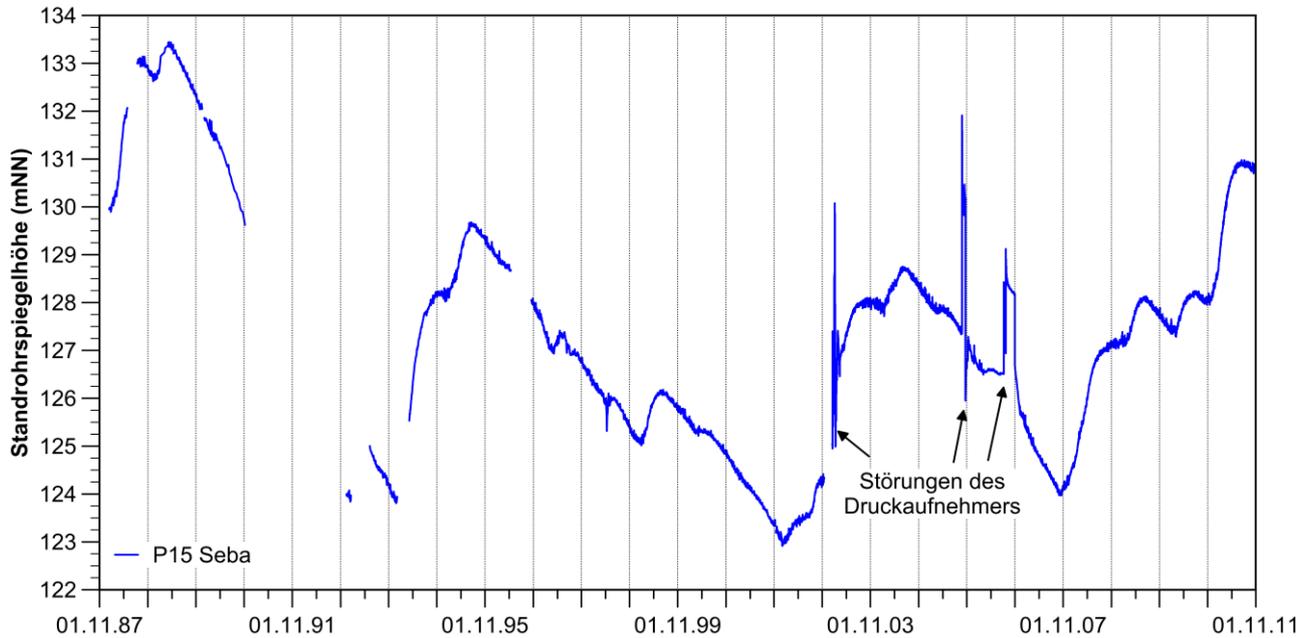


Abb. B.17: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM P15 (ko) für die hydrologischen Jahre 1988 bis 2011.

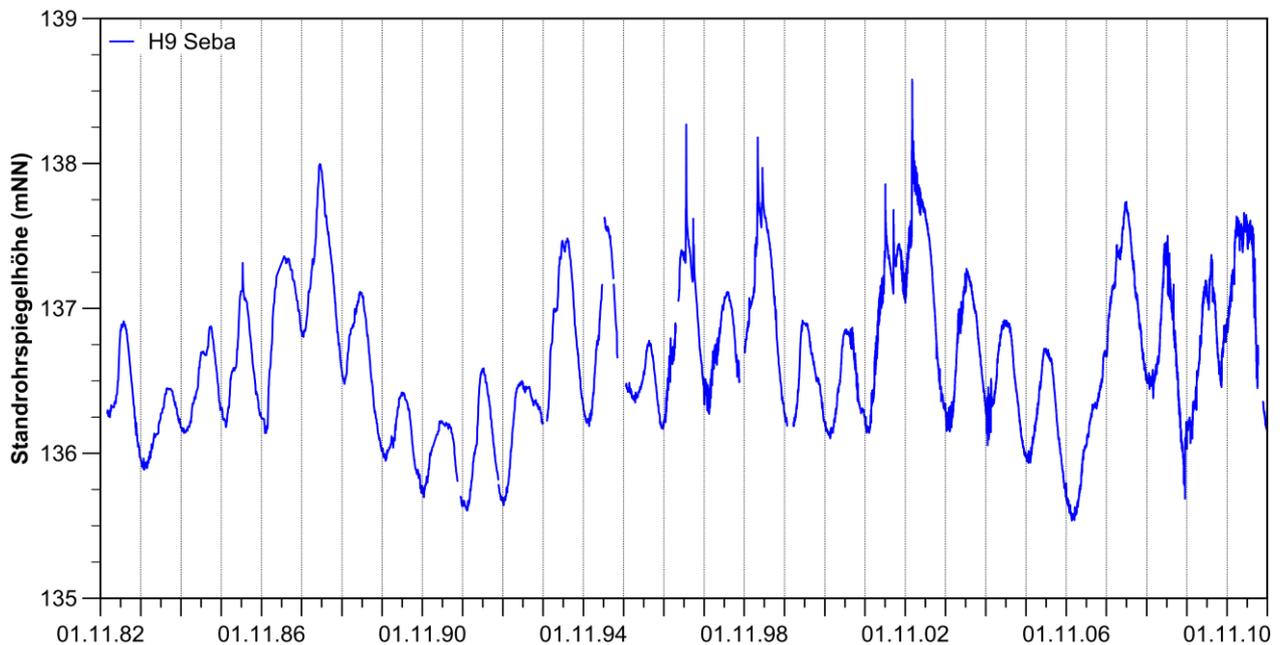


Abb. B.18: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H9 (ju) für die hydrologischen Jahre 1983 bis 2011.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 432 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

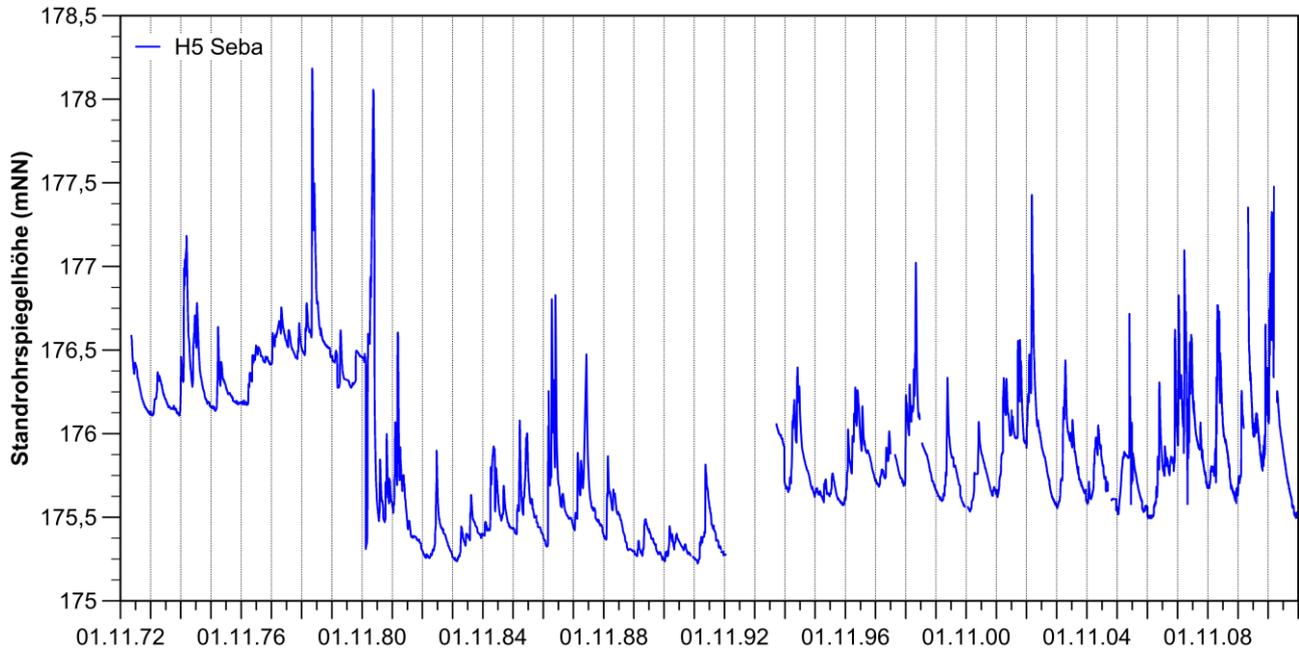


Abb. B.19: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H5 (z3r) für die hydrologischen Jahre 1983 bis 2011.

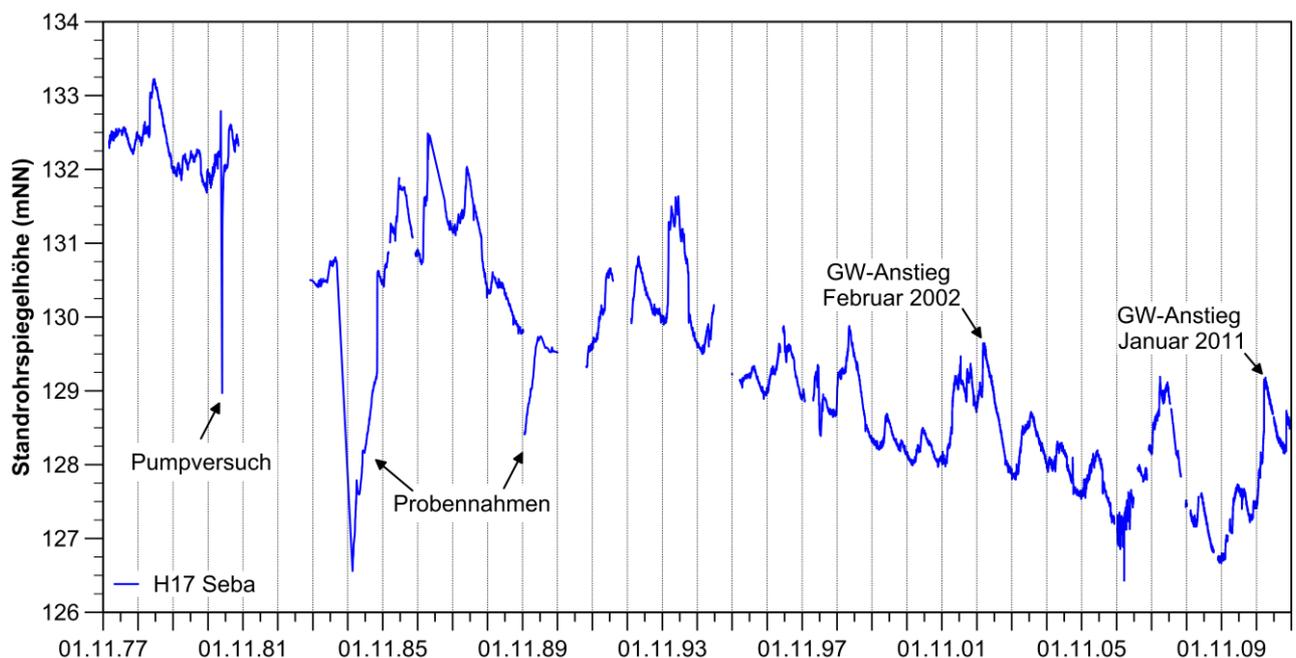


Abb. B.20: Langjährige Ganglinie der Standrohrspiegelhöhe (Seba-Druckaufnehmer) in der GWM H17 (Subrosionsgerinne am Salzspiegel) für die hydrologischen Jahre 1977 bis 2011.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 433 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

ANHANG C: THEORETISCHE GRUNDLAGEN DER BAROMETRISCHEN EFFIZIENZ

C.1 Einleitung

Änderungen des Luftdrucks bewirken Änderungen des Wasserdrucks in den Filterstrecken wie auch der Standrohrspiegelhöhen in ausgebauten Bohrungen. Aus der Art dieser Änderungen können Informationen über den mit der Filterstrecke beprobten hydrogeologischen Horizont abgeleitet werden. Nachfolgend werden die theoretischen Grundlagen zusammengestellt, die die Änderung des Wasserdrucks in einer Filterstrecke bzw. der Standrohrspiegelhöhe in einer Bohrung als Folge einer Luftdruckänderung bestimmen, und die resultierenden Beziehungen für einige einfache hydrogeologische Situationen exemplarisch abgeleitet. Dies ist zweckmäßig, da entsprechende Darstellungen in der zugänglichen Literatur schwierig aufzufinden sind. Hauptgegenstand der Literatur zur barometrischen Effizienz ist die effiziente und belastbare statistische Ermittlung der Kenngrößen durch Analyse von Datenreihen, ausgehend von den nachfolgend abgeleiteten Beziehungen.

Die nachfolgenden Darstellungen betreffen konzeptuell einfache Verhältnisse:

- Betrachtet werden ausschließlich Süßwassersysteme, Effekte örtlich oder zeitlich variabler Wasserdichten werden nicht einbezogen. Als Wasserdichte wird $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ angesetzt.
- Betrachtet wird eine als Messstelle ausgebaute Bohrung in einem horizontal verlaufenden gespannten oder ungespannten GW-Leiter mit örtlich homogenen Eigenschaften und initial stehendem Grundwasser (externer hydraulischer Gradient = 0). Die Hangendgrenze des gespannten GW-Leiters wird als hydraulisch absolut undurchlässig angenommen. Wasserflüsse zwischen der Filterstrecke und dem GW-Leiter werden durch ein 2D-radialsymmetrisches Fließfeld angenähert.
- Die Messstelle ist mit einem Steigrohr (und nicht mit einem Druckaufnehmer in einem Doppelpacker) ausgerüstet. Der Durchmesser des Steigrohrs und des Testintervalls der Bohrung (Grenze des Grundwasserträgers um die Filterstrecke, keine Skin-Effekte) seien gleich, er betrage $2 \cdot R_B$.
- Betrachtet werden die Auswirkungen eines sprunghaften Anstiegs des Luftdrucks zur Zeit $t = 0$ um den Betrag Δp_{atm} . Vor diesem Anstieg sei das System in einem stationären Zustand, nach dem sprunghaften Anstieg des Luftdrucks, d.h. für $t > 0$, gibt es keine zeitlich veränderlichen Einflüsse außer jenen, die Folgen des Luftdruckanstiegs bei $t = 0$ sind.
- In einem ersten Schritt werden zusätzlich auch Speichereffekte in der Bohrung (wellbore storage effects) vernachlässigt. Deren Einfluss wird in einem nachfolgenden Schritt gesondert analysiert.

Im vorliegenden Anhang C wird folgende Notation verwendet:

$p_{\text{atm},0}$ Luftdruck vor dem Anstieg bei $t = 0$ [Pa]

Δp_{atm} Luftdruckanstieg bei $t = 0$ [Pa]



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 434 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

$p_w(t)$ Wasserdruck im GW-Leiter in der betrachteten Tiefe, ggf. im spezifizierten Abstand von der Messstelle [Pa]

$p_{w,0}$ Wasserdruck im GW-Leiter in der betrachteten Tiefe vor dem Anstieg des Luftdrucks [Pa]

$h_t(t)$ hydraulische Druckhöhe (hydraulisches Potential) im GW-Leiter, ggf. im spezifizierten Abstand von der Messstelle (total head) [mNN]. Die Größe h_t schließt den Beitrag des Luftdrucks ein, sie entspricht nicht dem beobachtbaren Wasserspiegel im Standrohr.

$h_{t,0}$ hydraulische Druckhöhe (hydraulisches Potential) im GW-Leiter vor dem Luftdruckanstieg [mNN]

$p_{wB}(t), p_{wB,0}, h_{tB}(t), h_{tB,0}$
analoge Größen in der Filterstrecke der Messstelle

$h(t)$ Niveau des beobachtbaren Wasserspiegels im Standrohr nach dem Luftdruckanstieg [mNN]

h_1 (asymptotisch) stationäres Niveau des beobachtbaren Wasserspiegels im Standrohr nach dem Luftdruckanstieg [mNN]

h_0 Niveau des beobachtbaren Wasserspiegels im Standrohr vor dem Luftdruckanstieg [mNN]

ρ Wasserdichte $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

g Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

K Kompressionsmodul des Festphasengerüsts des GW-Leiters [Pa]

K_w Kompressibilität von Wasser $K_w^{-1} = 4,37 \cdot 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$

S_s spezifischer Speicherkoeffizient des GW-Leiters [m^{-1}]

k_f k_f -Wert des GW-Leiters [m/s]

H Mächtigkeit des GW-Leiters [m]

T Transmissivität des GW-Leiters $T = k_f \cdot H$ [m^2/s]

n Porosität des GW-Leiters [-]

D_h hydraulische Diffusivität $D_h = k_f/S_s$ [m^2/s]

C Messstellen-Speicherkoeffizient (wellbore storage) [m^3/Pa]

Zwischen einzelnen dieser Größen bestehen die nachfolgend aufgeführten allgemein gültigen Beziehungen.

$$p_w(t) = \rho \cdot g \cdot (h_t(t) - z) \quad (\text{C-1})$$

$$p_{w,0} = \rho \cdot g \cdot (h_{t,0} - z) \quad (\text{C-2})$$

mit z Niveau, für das der Wasserdruck ausgerechnet wird, hier i.a. Niveau der Filterstrecke [mNN]



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 435 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Die gleichen Beziehungen gelten auch für die analogen Größen in der Filterstrecke ($p_{wB}(t)$, etc.). Die beobachteten Wasserspiegel im Steigrohr stehen in folgender Beziehung zum hydraulischen Potential in der Filterstrecke h_{tB} :

$$h_{tB,0} = h_0 + \frac{p_{atm,0}}{\rho \cdot g} \quad (C-3)$$

$$h_{tB}(t) = h(t) + \frac{p_{atm,0} + \Delta p_{atm}}{\rho \cdot g} \quad t > 0 \quad (C-4)$$

Zudem gilt folgende Beziehung zwischen dem spezifischen Speicherkoeffizient des GW-Leiters, dem Kompressionsmodul des Festphasengerüsts, der Porosität und dem Kompressionsmodul von Wasser:

$$S_s = \rho \cdot g \cdot \left(\frac{1}{K} + \frac{n}{K_w} \right) \quad (C-5)$$

C.2 Gespannter Grundwasserleiter ohne Messstellen-Speichereffekte

Ohne Messstellen-Speichereffekte (wellbore storage effects) gleicht sich der Wasserdruck zwischen dem GW-Leiter und der Filterstrecke instantan aus. In der Filterstrecke und im Steigrohr werden die Druckverhältnisse im GW-Leiter ohne zeitverzögernde Effekte unverfälscht beobachtet.

Durch den Anstieg des Luftdrucks erhöht sich die Last auf den Untergrund. Dieser Lastanstieg breitet sich mit hoher Geschwindigkeit von der Erdoberfläche in die Tiefe aus. Dadurch steigt die Gebirgsspannung im GW-Leiter nach kurzer Zeit ($t=0+dt$) um Δp_{atm} . Ohne weiteren Nachweis wird angenommen, dass die Gebirgsspannung isotrop, d.h. in jeder Raumrichtung um den gleichen Betrag Δp_{atm} ansteigt. Dieser Spannungsanstieg im GW-Leiter wird gemeinsam vom Feststoffgerüst und vom Porenwasser aufgenommen. Die nachfolgend aufgeführten Gleichungen sind dem Anhang B von [AF-Colenco 2010] entnommen und setzen voraus, dass das Porenwasser unbeweglich ist. Diese Voraussetzung ist einerseits durch die kurze betrachtete Zeitspanne (instantaner Druckanstieg) und die großflächige Einwirkung des Luftdruckanstiegs sichergestellt. Aufgrund der vernachlässigbaren Messstellen-Speichereffekte führt auch der Druckausgleich zwischen GW-Leiter und Filterstrecke nicht zu einer Verletzung der Voraussetzung.

Das Feststoffgerüst des GW-Leiters wird proportional zum Anstieg der effektiven Gebirgsspannung komprimiert. Unter der Annahme, dass die Kompression vollumfänglich durch den Porenraum aufgenommen wird und das Volumen der Festphase selbst in guter Näherung unverändert bleibt, verringert sich die Porosität des GW-Leiters – entsprechend Gl. (B-4) im o.g. Anhang – um Δn . Da das Porenwasser immobil ist, bewirkt die Verringerung des Porenraums gleichzeitig eine Kompression des Wassers und damit einen Anstieg des Wasserdrucks in den Poren.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 436 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

$$\Delta n = \frac{1}{K} \cdot (\Delta \sigma - \Delta p_w) = \frac{1}{K} \cdot (\Delta p_{\text{atm}} - \Delta p_w) \quad (\text{C-6})$$

mit $\Delta \sigma$ isotroper Spannungsanstieg (im Allgemeinen: $\frac{1}{3}$ der Spur des Spannungstensors)

Δp_w Anstieg des Wasserdrucks im Porenraum

Die Beziehung zwischen der Abnahme des Porenraums und der Zunahme des Wasserdrucks aufgrund der Kompression des Porenwassers lautet – entsprechend Gl. (B-9) im o.g. Anhang –

$$\Delta p_w = K_w \cdot \frac{\Delta n}{n} \quad (\text{C-7})$$

Elimination von Δn aus dem Gleichungssystem (C-6) und (C-7) ergibt

$$\frac{1}{K} \cdot \Delta p_{\text{atm}} = \left(\frac{1}{K} + \frac{n}{K_w} \right) \cdot \Delta p_w = \frac{S_s}{\rho \cdot g} \cdot \Delta p_w \quad (\text{C-8})$$

Durch den instantanen Luftdruckanstieg steigt der Porenwasserdruck im gespannten GW-Leiter ebenfalls (praktisch) instantan an und verbleibt dann konstant auf dem erhöhten Wert. Mit den Gleichungen (C-1) und (C-2) bedeutet dies einen Anstieg des hydraulischen Potentials um den Betrag Δh_t mit

$$\Delta h_t = h_t(t > 0) - h_{t,0} = \frac{\Delta p_w}{\rho \cdot g} \quad (\text{C-9})$$

Mit Gl. (C-8) und wegen der vernachlässigbaren Messstellen-Speichereffekte, $h_{tB}(t) \approx h_t(t)$, steigt das hydraulische Potential in der Filterstrecke um den Betrag Δh_{tB} mit

$$\frac{\rho \cdot g \cdot \Delta h_{tB}}{\Delta p_{\text{atm}}} = \frac{\rho \cdot g}{K \cdot S_s} \quad (\text{C-10})$$

Die Kompression der Wassersäule oberhalb der Filterstrecke als Folge des Luftdruckanstiegs, der daraus resultierende Anstieg der Wasserdichte und die zugehörige Abnahme der Höhe der Wassersäule über der Filterstrecke ist im Vergleich mit der Änderung des hydraulischen Potentials gemäß Gl. (C-10) vernachlässigbar gering. Die Gln. (C-3) und (C-4) erlauben damit direkt die Berechnung der Änderung des beobachtbaren Wasserspiegels im Standrohr $h_1 - h_0$. Das negative Verhältnis dieser Änderung zur auslösenden Druckluftänderung wird, nach Normierung auf eine dimensionslose Größe, als baromerische Effizienz BE bezeichnet. Diese ist wie folgt definiert:

$$BE \equiv - \frac{\rho \cdot g \cdot (h_1 - h_0)}{\Delta p_{\text{atm}}} \quad (\text{C-11})$$

Aus Gl. (C-10) folgt unter Verwendung der Gln. (C-3) und (C-4) sowie von Gl. (C-5)



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 437 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

$$BE = 1 - \frac{\rho \cdot g}{K \cdot S_s} = \frac{\rho \cdot g \cdot n}{K_w \cdot S_s} \quad (C-12)$$

Die barometrische Effizienz ist nach Gl. (C-12) – vorläufig gezeigt für einen gespannten GW-Leiter – immer positiv und liegt zwischen 0 und 1. Bei einem Anstieg des Luftdrucks fällt der beobachtbare Wasserspiegel in einem Standrohr einer Messstelle in einem gespannten GW-Leiter somit immer ab.

Eine barometrische Effizienz nahe 1 bedeutet, dass der spezifische Speicherkoeffizient S_s durch die Kompressibilität des Porenwassers dominiert ist, d.h. dass der Kompressionsmodul des Festphasengerüsts sehr hoch ist, d.h. dass das Festphasengerüst sehr steif ist. Der Lastanstieg an der Hangendgrenze des GW-Leiters wird weitgehend vom Festphasengerüst aufgenommen, so dass der Porenwasserdruck im GW-Leiter praktisch unverändert bleibt. Im Steigrohr sinkt der beobachtbare Wasserspiegel unvermindert entsprechend dem Luftdruckanstieg ab.

Eine barometrische Effizienz nahe 0 bedeutet umgekehrt, dass der spezifische Speicherkoeffizient S_s durch den Kompressionsmodul des Festphasengerüsts dominiert wird, d.h. dass dieses im Vergleich zur Kompressibilität von Wasser, genauer zu K_w/n , niedrig ist. Dies bedeutet, dass das Festphasengerüst Spannungsänderungen relativ wenig Widerstand entgegensetzt, so dass der Lastanstieg als Folge des Luftdruckanstiegs weitgehend durch das Porenwasser aufgenommen werden muss. Der Wasserdruck steigt dabei praktisch im gleichen Ausmaß wie der Luftdruck. Aufgrund der vernachlässigbaren Messstellen-Speichereffekte steigt auch der Wasserdruck in der Filterstrecke ohne Zeitverzögerung um den Betrag des Luftdruckanstiegs. Der Druck steigt somit am Wasserspiegel im Steigrohr und in der Filterstrecke praktisch gleichzeitig und um den gleichen Betrag, so dass der beobachtbare Wasserspiegel im Standrohr unverändert bleibt.

C.3 Ungespannter Grundwasserleiter ohne Messstellen-Speichereffekte

Betrachtet wird ein ungespannter, wiederum horizontal verlaufender GW-Leiter. Der Grundwasserspiegel befinde sich in der Teufe H_v , und H bezeichne die Mächtigkeit des gesättigten Bereichs. Die Filterstrecke befinde sich im Abstand H_f unterhalb des Grundwasserspiegels.

C.3.1 Ausbreitung der Luftdruckänderung in der ungesättigten Zone

Bei einem Luftdruckanstieg bei $t = 0$ breitet sich der Druckanstieg im Standrohr sehr rasch, praktisch instantan bis in die Filterstrecke aus. Außerhalb der Bohrung benötigt der Fluidruckanstieg jedoch eine gewisse Zeit, bis er durch die ungesättigte Zone bis zum Grundwasserspiegel vordringt. Aus der verallgemeinerten Darcy-Gleichung für ein gasförmiges Fluid folgt in Verbindung mit der idealen Gasgleichung, dass sich eine Änderung der Druckrandbedingung an der Geländeoberfläche gemäß folgender Gleichung in die Tiefe ausbreitet:



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 438 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

$$\frac{\partial p_g}{\partial t} = \frac{p_g}{n} \cdot \frac{k \cdot k_{g,rel}}{\mu_g} \cdot \frac{\partial^2 p_g}{\partial z^2} \quad (C-13)$$

mit p_g Luftdruck im Porenraum der ungesättigten Zone

k Permeabilität der ungesättigten Zone [m^2]. Die Permeabilität und der k_f -Wert hängen über folgende Beziehung zusammen: $k = \mu_w / (\rho \cdot g) \cdot k_f$, wobei μ_w die dynamische Viskosität von Süßwasser ist. Ein GW-Leiter mit einem k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-5}$ m/s weist eine Permeabilität von $1 \cdot 10^{-12}$ m^2 auf (mit leichter Rundung).

$k_{g,rel}$ relative Gaspermeabilität in der nicht vollständig wasserfreien ungesättigten Zone [-]. Für die nachfolgende Abschätzung reicht ein pauschaler Ansatz $k_{g,rel} = 0,1$.

μ_g dynamische Viskosität von Luft, $\mu_g \approx 2 \cdot 10^{-5}$ Pa·s

Der Vorfaktor der zweiten partiellen Ableitung auf der rechten Seite von Gl. (C-13) kann als Diffusionskonstante von Luftdruckänderungen in der ungesättigten Zone, D_{LD} , bezeichnet werden. Mit den oben angegebenen Parameterwerten, insbesondere bei einer Permeabilität der ungesättigten Zone von 10^{-12} m^2 entsprechend einem k_f -Wert von rund 10^{-5} m/s, Atmosphärendruck und einer Porosität von 0,1 (= 10 %) ergibt sich für die Diffusionskonstante D_{LD} der (gerundete) Wert $D_{LD} = 0,005$ m^2/s .

Die charakteristische Zeit bis zum Anstieg des Luftdrucks im Porenraum unmittelbar über dem Grundwasserspiegel, $t_{V,char}$, hängt von der Diffusionskonstante D_{DL} und der Tiefe des Grundwasserspiegels H_V ab:

$$t_{V,char} = \frac{H_V^2}{2 \cdot D_{DL}} \quad (C-14)$$

Auswertung der Gl. (C-14) ergibt folgende charakteristische Zeiten:

$$H_V = 10 \text{ m} \quad t_{V,char} = 2,8 \text{ h}$$

$$H_V = 30 \text{ m} \quad t_{V,char} = 25 \text{ h}$$

$$H_V = 60 \text{ m} \quad t_{V,char} = 100 \text{ h}$$

Die charakteristische Zeit, bis der Luftdruck im Porenraum unmittelbar oberhalb des Grundwasserspiegels als Folge eines Luftdruckanstiegs an der Geländeoberfläche ebenfalls ansteigt, wächst quadratisch mit der Tiefe des Grundwasserspiegels. Sie hängt umgekehrt proportional von der Permeabilität der ungesättigten Zone über dem Grundwasserspiegel ab.

C.3.2 Zeitliche Entwicklung des Wasserdrucks nach $t = 0$

Nach einem sprunghaften Anstieg des Luftdrucks an der Geländeoberfläche verändert sich der Wasserdruck in einem ungespannten GW-Leiter in mehreren Phasen. Diese unterscheiden sich dadurch, dass unterschiedliche Prozesse dominant wirken.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 439 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Phase (1): Spannungsausbreitung bei vernachlässigbarer Fluidbewegung

In einer sehr kurzen, ersten Zeitphase, die hier mit Phase (1) bezeichnet wird, sind Fluidbewegungen unwirksam, d.h. das Fluid wirkt wie eingeschlossen im Porenraum. Der sich rasch in die Tiefe ausbreitende Spannungsanstieg hat folgende Auswirkungen:

- (a) Im gesättigten Bereich des GW-Leiters sind die Auswirkungen während dieser Phase (1) gleich wie in einem gespannten GW-Leiter: Der Grundwasserdruck steigt entsprechend Gl. (C-8) an:

$$\text{Phase (1): } p_w(t) : p_{w,0} \rightarrow p_{w,0} + \Delta p_w \quad \text{mit} \quad \Delta p_w = \frac{\rho \cdot g}{K \cdot S_s} \cdot \Delta p_{\text{atm}}$$

- (b) Im tiefen ungesättigten Bereich muss der Spannungsanstieg praktisch vollständig vom Festphasengerüst aufgenommen werden. Dies bewirkt eine Abnahme der Porosität. Der Druckanstieg in der Gasphase aufgrund der verminderten Porosität ist vernachlässigbar.
- (c) An der Oberfläche des ungesättigten Bereichs steigt der Gasdruck im Porenraum um Δp_{atm} an, so dass dort die effektive Spannung unverändert bleibt und das Festphasengerüst keine Kompression erfährt.

Phase (2): Dominanz des Druckausgleichs in der Wasserphase

Mit dem Beginn der Wirksamkeit der Fluidflüsse endet die Phase (1). Wie in Kapitel C.3.1 dargestellt wurde, dringt dadurch der Luftdruckanstieg mit der Diffusionskonstante D_{LD} von der Geländeoberfläche in die Tiefe vor. Die charakteristische Zeit dafür liegt in der Regel im Bereich von Stunden.

Eine erhebliche Druckdifferenz existiert am Ende von Phase (1) jedoch auch am Grundwasserspiegel. Oberhalb des Grundwasserspiegels herrscht (noch) ein Luftdruck wie vor dem Luftdruckanstieg bei $t = 0$. Gemäß der vereinfachten Überlegung für die Phase (1) herrscht an deren Ende unmittelbar unterhalb des Grundwasserspiegels der Wasserdruck $p_{w,0} + \Delta p_w = p_{\text{atm},0} + \Delta p_w$. Am Grundwasserspiegel herrscht somit in vertikaler Richtung ein Sprung des Fluiddrucks von Δp_w . Dieser löst nach oben gerichtete Wasserflüsse und ein geringfügiges, für das Folgende vernachlässigbares Ansteigen des Grundwasserspiegels aus.

Durch diese nach oben gerichteten Wasserflüsse sinkt der Wasserdruck im GW-Leiter, wobei sich die Absenkung mit der hydraulischen Diffusivität D_h vom Grundwasserspiegel in die Tiefe ausbreitet.

Ein GW-Leiter, der mit $k_f = 10^{-5}$ m/s die gleiche Permeabilität wie der in Kapitel C.3.1 betrachtete GW-Leiter aufweist, und bei einer Annahme eines typischen Werts von $S_s = 10^{-6}$ m⁻¹ beträgt die hydraulische Diffusivität $D_h = 10$ m²/s. Die charakteristische Zeit bis zum Absinken des Wasserdrucks in der Tiefe der Filterstrecke, d.h. im Abstand H_f vom Grundwasserspiegel, beträgt somit in Analogie zu Gl. (C-14):



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 440 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

$$t_{h, \text{char}} = \frac{H_F^2}{2 \cdot D_h} \quad (\text{C-15})$$

Auswertung der Gl. (C-15) ergibt folgende charakteristische Zeiten für das Absinken des Wasserdrucks in der Tiefe der Filterstrecke und – wegen der vernachlässigbaren Messstellen-Speicher-effekte – auch in der Filterstrecke selbst:

$$\begin{aligned} H_F = 10 \text{ m} & \quad t_{h, \text{char}} = 5 \text{ s} \\ H_F = 30 \text{ m} & \quad t_{h, \text{char}} = 45 \text{ s} \\ H_F = 100 \text{ m} & \quad t_{h, \text{char}} = 500 \text{ s} = 8,3 \text{ min} \end{aligned}$$

Diese charakteristischen Zeiten sind deutlich kürzer als die in Kapitel C.3.1 ermittelten charakteristischen Zeiten für das Ansteigen des Luftdrucks unmittelbar oberhalb des Grundwasserspiegels. Bei vergleichbarer Permeabilität des GW-Leiters im gespannten und im ungespannten Bereich und ohne spezielle geometrische Verhältnisse gilt dies allgemein.

Sofern der Luftdruckanstieg unmittelbar oberhalb des Grundwasserspiegels bis zum Druckausgleich im gesättigten Bereich des GW-Leiters höchstens vernachlässigbar gering ist, fällt der Wasserdruck in der Tiefe der Filterstrecke wiederum auf den Wert vor dem Luftdruckanstieg bei $t=0$ ab:

$$\text{Phase (2): } p_w(t) : p_{w,0} + \Delta p_w \rightarrow p_{w,0}$$

Phase (3): Dominanz des Druckausgleichs im ungesättigten Bereich

Die Phase (3) setzt ein, wenn der Luftdruck im Porenraum unmittelbar über dem Grundwasserspiegel erheblich anzusteigen beginnt, d.h. nach $t = t_{v, \text{char}}$, und die Folgen dieses Anstiegs im gesättigten Bereich den in Phase (2) dominierenden Druckausgleich übertreffen.

Mit dem Anstieg des Luftdrucks im Porenraum unmittelbar oberhalb des Grundwasserspiegels steigt auch der Wasserdruck im gesättigten Bereich unterhalb des Grundwasserspiegels wieder an, in größerer Teufe verzögert um die charakteristische Zeit $t_{h, \text{char}}$.

Asymptotisch steigt der Luftdruck unmittelbar oberhalb des Grundwasserspiegels um Δp_{atm} an. In der Folge steigt der Wasserdruck in allen Teufen, wenn auch zeitlich etwas verzögert, um den gleichen Betrag an:

$$\text{Phase (3): } p_w(t) : p_{w,0} \rightarrow p_{w,0} + \Delta p_{\text{atm}}$$

Anhang C.3.3 Zusammenfassung für den ungespannten Grundwasserleiter

Aus den in Kapitel C.3.2 dargestellten Überlegungen ergibt sich der in Abb. C.1 dargestellte zeitliche Verlauf des Wasserdrucks in einiger Tiefe unterhalb des Grundwasserspiegels, z.B. in der Tiefe der Filterstrecke.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 441 von 522
9A	22100000	HGG	R	0003	00		Stand: 27.08.2014

Bei Annahme von vernachlässigbaren Messstellen-Speichereffekten beschreibt Abb. C.1 auch den zeitlichen Verlauf des Wasserdrucks in der Filterstrecke.

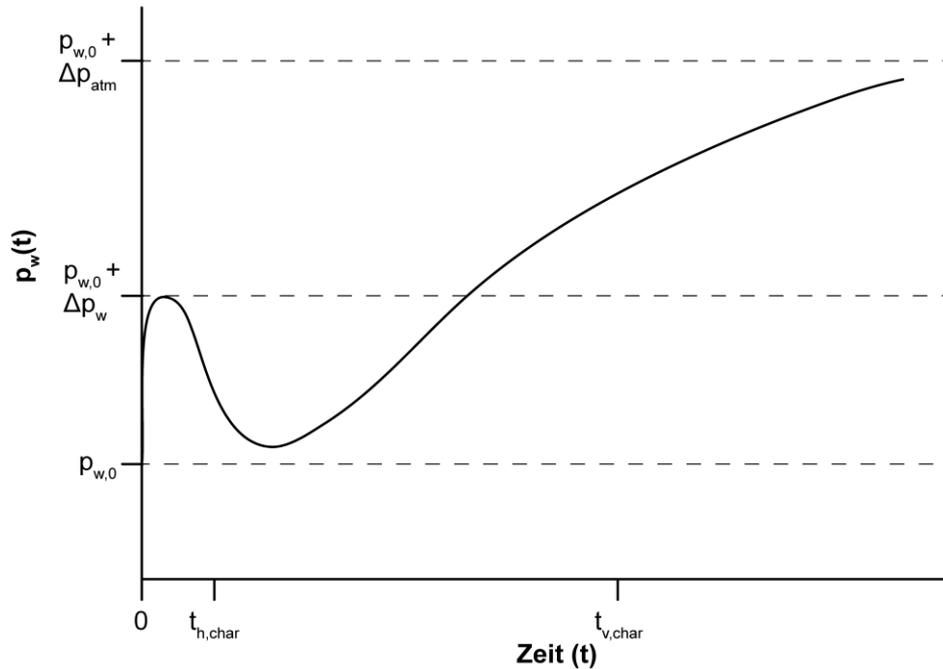


Abb. C.1: Qualitativer zeitlicher Verlauf des Wasserdrucks in einiger Tiefe unterhalb des Grundwasserspiegels in einem ungespannten Grundwasserleiter.

Definiert man – in Analogie zur barometrischen Effizienz für einen gespannten GW-Leiter, Gl. (C-11) – die zeitabhängige Größe $BE(t)$ mit Bezug auf einen sprunghaften Luftdruckanstieg um Δp_{atm} bei $t = 0$ gemäß:

$$BE(t) \equiv \frac{\rho \cdot g \cdot (h(t) - h_0)}{\Delta p_{atm}} \quad (C-16)$$

dann ergibt sich aus den Gln. (C-1) bis (C-4):

$$BE(t) = 1 - \frac{p_w(t) - p_{w,0}}{\Delta p_{atm}} \quad (C-17)$$

Die resultierende zeitliche Entwicklung von $BE(t)$ zeigt Abb. C.2. Die Größe $BE(t)$ fällt nach dem Luftdruckanstieg rasch auf den Wert der barometrischen Effizienz, den der GW-Leiter unter gespannten Verhältnissen aufweisen würde, und steigt anschließend mit der charakteristischen Zeit $t_{h,char}$ wieder gegen den Wert von 1 an, wobei $t_{h,char}$ in erster Linie vom k_f -Wert des GW-Leiters und der Tiefe der Filterstrecke abhängt. Mit der charakteristischen Zeit $t_{v,char}$, die im Wesentlichen von der Permeabilität des GW-Leiters im ungesättigten Bereich und von der Tiefe des Grundwasser-

 Bundesamt für Strahlenschutz				Sachstandsbericht Hydrogeologie			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 442 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

spiegels abhängt, fällt die Größe $BE(t)$ nach Erreichen eines Maximalwerts ≤ 1 schließlich gegen 0 ab.

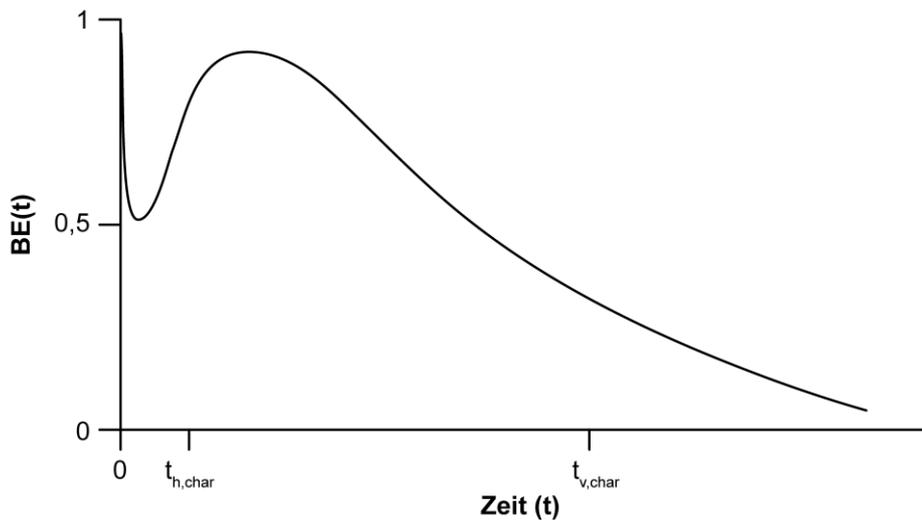


Abb. C.2: Resultierender qualitativer zeitlicher Verlauf der Größe $BE(t)$.

Der anfängliche Abfall von $BE(t)$ dürfte – wie der analoge Abfall bei gespannten GW-Leitern – zu rasch erfolgen, um in Felddaten, die die Auswirkungen von realen Luftdruckänderungen widerspiegeln, beobachtbar zu sein. Je nach dem Wert von $t_{h,char}$ zeigen Felddaten nur den späten Abfall von $BE(t)$ von 1 gegen 0 oder zusätzlich noch einen anfänglichen Anstieg von einem Wert < 1 auf einen Maximalwert, der natürlich ebenfalls ≤ 1 erfüllt.

Die dargestellte zeitliche Entwicklung von $p_w(t)$ und von $BE(t)$ bezieht sich auf einen einmaligen und sprunghaften Anstieg des Luftdrucks bei $t=0$. In der Realität verändert sich der Luftdruck kontinuierlich, so dass sich die gezeigten zeitlichen Entwicklungen zeitverschoben überlappen.

Weitere Effekte, die die Interpretation von Felddaten erschweren und in der vorliegenden Analyse bisher ausgeklammert wurden, sind die Messstellen-Speichereffekte. Diese sind Gegenstand des nachfolgenden Kapitels.

C.4 Messstellen-Speichereffekte (wellbore storage effects)

Messstellen-Speichereffekte (wellbore storage effects) widerspiegeln den Umstand, dass für den Druckausgleich zwischen der Filterstrecke und dem GW-Leiter ein Wasseraustausch zwischen den beiden Systembereichen erforderlich ist, der je nach den herrschenden Fließwiderständen und den geometrischen Verhältnissen mehr oder weniger Zeit in Anspruch nimmt. Nachfolgend wird die Auswirkung der Messstellen-Speichereffekte auf die hier betrachteten Systeme (Messstelle in einem idealisierten, gespannten oder ungespannten GW-Leiter mit einer einmaligen sprunghaften Luftdruckerhöhung) analysiert. Die Überlegungen betreffen zunächst den gespannten GW-Leiter.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 443 von 522
9A	22100000	HGG	R	0003	00		Stand: 27.08.2014

In Kapitel C.2 wurde gezeigt, dass bei einem sprunghaften Luftdruckanstieg um Δp_{atm} der Wasserdruck im GW-Leiter um $\Delta p_w < \Delta p_{\text{atm}}$ ansteigt (Gln. (C-9), (C-10) und (C-12)).

$$\Delta p_w = \frac{\rho \cdot g}{K \cdot S_s} \cdot \Delta p_{\text{atm}} \cdot \Delta = (1 - BE) \cdot \Delta p_{\text{atm}} \quad (\text{C-18})$$

Ohne Wasseraustausch mit dem GW-Leiter steigt der Wasserdruck in der Filterstrecke als Folge des Druckausgleichs entlang dem Standrohr praktisch instantan um Δp_{atm} an. Damit herrscht unmittelbar nach dem Anstieg des Luftdrucks ein Überdruck in der Filterstrecke gegenüber dem GW-Leiter.

Ohne Wasseraustausch mit dem GW-Leiter verändert sich auch der beobachtbare Wasserspiegel im Standrohr nicht, $h(t=0+dt) = h_0$, und die gemäß Gl. (C-16) definierte Größe $BE(t)$ weist somit zunächst den Wert 0 auf: $BE(t=0+dt) = 0$. Erst mit dem durch den Wasseraustausch bewirkten Druckausgleich fällt der Wasserdruck in der Filterstrecke ab, sinkt entsprechend der beobachtbare Wasserspiegel im Standrohr von anfänglich h_0 auf h_1 ab und steigt die Größe $BE(t)$ von anfänglich 0 auf den mit Gl. (C-12) für einen gespannten GW-Leiter berechneten Wert BE an.

Bei einer vernachlässigbaren Auflockerungszone und vernachlässigbaren Skineffekten um die Filterstrecke und bei einer 2D-radialsymmetrischen Fließgeometrie verändert sich das hydraulische Potential im GW-Leiter um die Filterstrecke gemäß:

$$\frac{\partial h_t}{\partial t} = D_h \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial h_t}{\partial r} \right) \quad (\text{C-19})$$

mit der Anfangsbedingung
$$h_t(t=0, r) = h_{t,0} + \frac{\Delta p_w}{\rho \cdot g}$$

und der Randbedingung
$$h_t(t, r = R_B) = h_{tB}(t)$$

wobei $t = 0$ hier und nachfolgend für $t = 0 + dt$ steht.

Sofern sich die Filterstrecke über die gesamte Mächtigkeit des GW-Leiters erstreckt, berechnet sich der Wasserfluss aus der Filterstrecke in das Grundwasser gemäß nachfolgender Gleichung:

$$Q = -2\pi \cdot R_B \cdot T \cdot \left. \frac{\partial h_t}{\partial r} \right|_{r=R_B} \quad (\text{C-20})$$

Sofern die Filterstrecke nur einen Teil der Mächtigkeit des GW-Leiters abdeckt und der GW-Leiter eine stark anisotrope hydraulische Durchlässigkeit (mit sehr geringem vertikalem k_f -Wert) aufweist, gilt Gl. (C-20) nach Ersetzen der Transmissivität des GW-Leiters T durch das Produkt aus dem horizontalen k_f -Wert und der Länge der Filterstrecke. Ohne oder bei geringer Anisotropie des GW-Leiters sind 3D-Effekte bei einer relativ kurzen Filterstrecke von Einfluss, und Gl. (C-20) kann nicht in Verbindung mit Gl. (C-19) eingesetzt werden. Die nachfolgenden Ausführungen setzen voraus, dass die Filterstrecke die gesamte Mächtigkeit des GW-Leiters erfasst.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 444 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Unmittelbar nach dem Luftdruckanstieg bei $t = 0$ beträgt das hydraulische Potential in der Filterstrecke:

$$h_{tB}(t=0) = h_{tB,0} + \frac{\Delta p_{atm}}{\rho \cdot g} \quad (C-21)$$

Der Messstellen-Speicherkoeffizient (wellbore storage) C ist durch folgende Beziehung zwischen dem Wasserfluss aus der Filterstrecke in den GW-Leiter und der zeitlichen Druckänderung in der Filterstrecke definiert:

$$Q = -C \cdot \frac{dp_{wB}}{dt} = -C \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{dh_{tB}}{dt} \quad (C-22)$$

Bei einer Messstelle mit offenem Steigrohr mit Radius R_B ist der Messstellen-Speicherkoeffizient:

$$C = \frac{\pi \cdot R_B^2}{\rho \cdot g} \quad (C-23)$$

Mit Gl. (C-20) ergibt sich daraus:

$$\frac{dh_{tB}}{dt} = \frac{2 \cdot T}{R_B} \cdot \left. \frac{\partial h_t}{\partial r} \right|_{r=R_B} \quad (C-24)$$

Das Gleichungssystem bestehend aus Gl. (C-19) mit den dazu aufgeführten Anfangs- und Randbedingungen in Verbindung mit den Gln. (C-21) und (C-24) kann nicht geschlossen gelöst werden. Es kann jedoch mit einem numerischen Bohrlochsimulator, wie er für die Auswertung von Slug-Tests eingesetzt wird, ausgewertet werden.

Das Gleichungssystem kann näherungsweise auch semi-analytisch ausgewertet werden, wenn $\partial h_t / \partial r$ auf dem Rand der Filterstrecke auf der rechten Seite von Gl. (C-20) durch einen Fit an numerische Lösungen von Gl. (C-19) mit konstanter Randbedingung $h_t(t, r=R_B) = \text{const}$ ersetzt wird.

Es seien $\Delta h_t(t, r)$ und $\Delta h_{tB}(t)$ definiert durch:

$$h_t(t, r) = h_{t,0} + \frac{\Delta p_w}{\rho \cdot g} + \Delta h_t(t, r) \quad (C-25)$$

$$h_{tB}(t) = h_{t,0} + \frac{\Delta p_w}{\rho \cdot g} + \Delta h_{tB}(t)$$

Damit lautet die Anfangsbedingung für die Gl. (C-19) $\Delta h_t(t=0, r) = 0$. Bei einem konstanten Wert von Δh_{tB} als Randbedingung von Gl. (C-19) ist folgendes ein nützlicher Fit an die numerischen Lösungen:



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 445 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

$$\left. \frac{\partial \Delta h_t}{\partial r} \right|_{r=R_B} = - \frac{\Delta h_{tB}}{R_B} \cdot \frac{0,9}{\ln \left[1 + 2 \cdot \frac{\left(\frac{t \cdot D_h}{R_B^2} \right)^{0,43}}{\left(\frac{R_B^2}{R_B^2} \right)} \right]} \quad (\text{C-26})$$

Wenn nun als weitere Näherung im Zähler des ersten Faktors auf der rechten Seite von Gl. (C-26) anstelle des konstanten Werts Δh_{tB} die zeitlich veränderliche Größe $\Delta h_{tB}(t)$ eingesetzt wird, ergibt sich mit G. (C-24):

$$\frac{1}{\Delta h_{tB}(t)} \cdot \frac{d\Delta h_{tB}}{dt} = - \frac{2 \cdot T}{R_B^2} \cdot \frac{0,9}{\ln \left[1 + 2 \cdot \frac{\left(\frac{t \cdot D_h}{R_B^2} \right)^{0,43}}{\left(\frac{R_B^2}{R_B^2} \right)} \right]} \quad (\text{C-27})$$

Die numerische Lösung dieser einfachen Differentialgleichung für $\Delta h_{tB}(t)$ gibt eine einfache Schätzung für den Einfluss der Messstellen-Speichereffekte. Abb. C.3 zeigt das Ergebnis für einen 50 m mächtigen GW-Leiter, der über die gesamte Mächtigkeit mit einer Filterstrecke erfasst wird, wobei Filterstrecke und Steigrohr einen Durchmesser von 18 cm aufweisen. Die Kurve mit der Bezeichnung kf-Wert 1 bezieht sich auf einen k_f -Wert von $2 \cdot 10^{-7}$ m/s entsprechend einer Transmissivität des GW-Leiters von $T = 10^{-5}$ m²/s, jene mit der Bezeichnung kf-Wert 2 auf einen zehnfach größeren k_f -Wert von $2 \cdot 10^{-6}$ m/s entsprechend einer Transmissivität des GW-Leiters von $T = 10^{-4}$ m²/s. Der mit der Näherung Gl. (C-27) ermittelte zeitliche Abfall von $\Delta h_{tB}(t)$ ist in Abb. C.3 mit „Näherung“ bezeichnet, der mit dem von AF-Consult entwickelten numerischen Bohrlochsimulator Multisim für die gleichen Parameter berechnete Abfall mit „Multisim“. Der Vergleich zeigt, dass die Näherung Gl. (C-27) für die Abschätzung der charakteristischen Zeit des Messstellen-Speichereffekts ausreichend ist.

Die Ergebnisse in Abb. C.3 zeigen, dass der Druckausgleich zwischen der Filterstrecke und dem GW-Leiter bei einer Transmissivität von 10^{-4} m²/s relativ rasch erfolgt, indem er nach einigen Minuten abgeschlossen ist. Bei einer zehnfach kleineren Transmissivität von 10^{-5} m²/s dauert es bereits rund eine Stunde. Die Dauer verändert sich ungefähr umgekehrt proportional mit der Transmissivität und proportional zum Quadrat von R_B .

Zusammenfassend ist für den gespannten GW-Leiter festzuhalten, dass die Größe $BE(t)$ bei einem einmaligen sprunghaften Luftdruckanstieg und bei nicht vernachlässigbaren Messstellen-Speichereffekten nur sukzessive, mit einer zunehmend abflachenden Kurve gegen den Wert der barometrischen Effizienz BE gemäß Gl. (C-12) ansteigt. Die charakteristische Zeit dafür, $t_{ws,char}$, ergibt sich näherungsweise aus der numerischen Lösung von Gl. (C-27). Bei einer kontinuierlichen Veränderung des Luftdrucks überlagern sich die Angleichprozesse. Wenn der Luftdruck während einer Zeitperiode ansteigt und wieder abfällt, die vergleichbar ist mit der charakteristischen Zeit $t_{ws,char}$, dann wirken die Angleichprozesse gegenläufig und die Größe $BE(t)$ bleibt klein: Die barometrische Effizienz des GW-Leiters wird unterschätzt.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 446 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

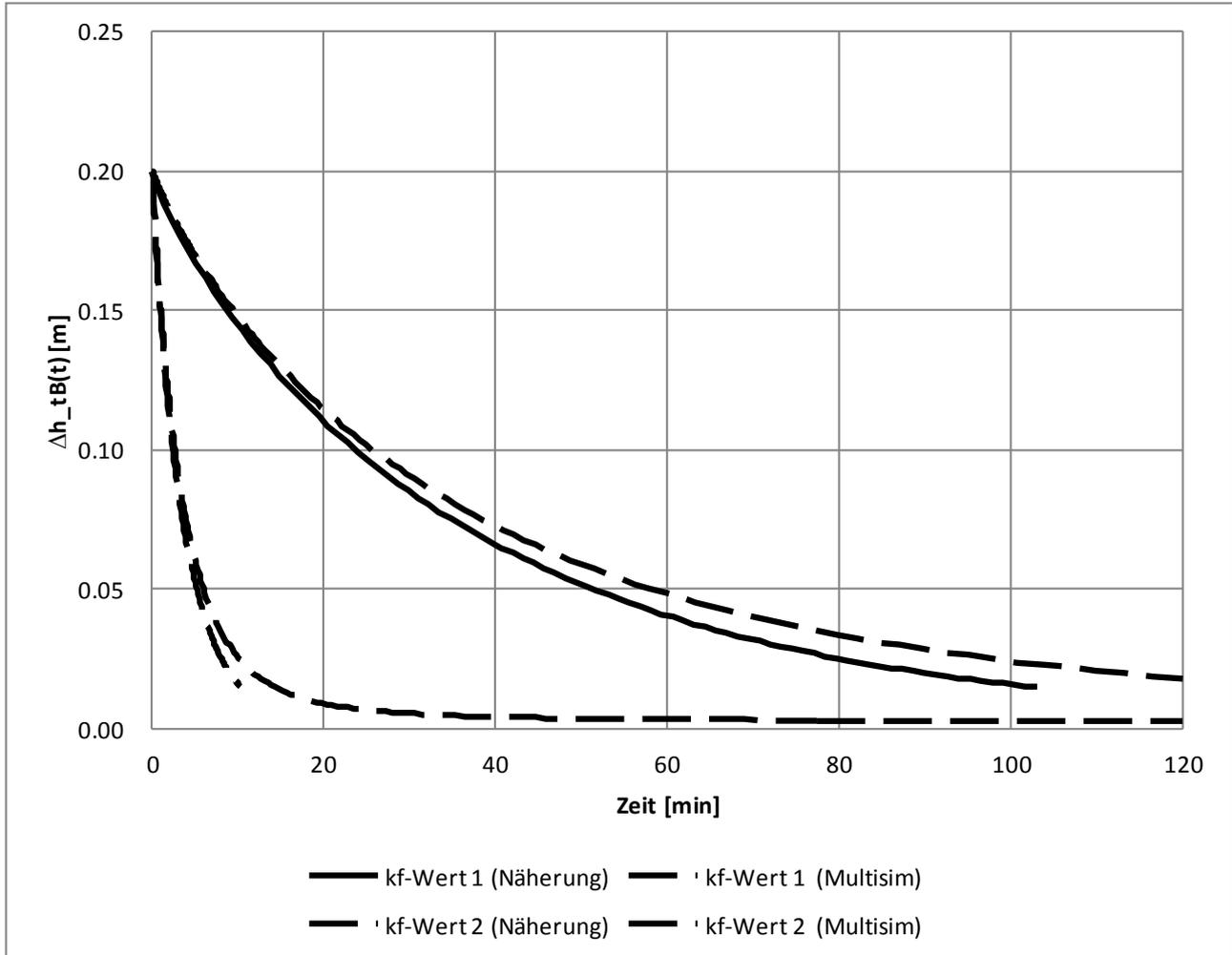


Abb. C.3: Zeitlicher Verlauf des Druckausgleichs zwischen der Filterstrecke und dem GW-Leiter für eine Transmissivität von $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ (Kurve k_f -Wert 1) und für eine zehnfach größere Transmissivität (Kurve k_f -Wert 2). Die übrigen Systemparameter sind im Text angegeben.

Bei einem ungespannten GW-Leiter bewirken selbst geringe Messstellen-Speichereffekte, dass der in Kapitel C.3.2 beschriebene anfängliche Abfall von $BE(t)$ von 1 auf den durch Gl. (C-12) gegebenen Wert der barometrischen Effizienz für den entsprechenden gespannten GW-Leiter nicht auftreten kann. Im besten Fall steigt $BE(t)$ rasch von 0 auf den Wert BE gemäß Gl. (C-12) und dann weiter entsprechend Abb. C.2 an. Bei nicht vernachlässigbaren Messstellen-Speichereffekten dürfte die charakteristische Zeit $t_{ws, \text{char}}$ i.d.R. jedoch länger als $t_{h, \text{char}}$ sein (vgl. Ausführungen zu Phase (2) in Kapitel C.3.2). In diesem Fall steigt die Größe $BE(t)$ ausgehend von 0 nur langsam gegen den Wert 1 an. Sofern die charakteristische Zeit $t_{ws, \text{char}}$ nicht deutlich geringer als die charakteristische Zeit des Luftdruckanstiegs in der ungesättigten Zone $t_{v, \text{char}}$ ist, vermag $BE(t)$ nur wenig anzusteigen, bevor die in Kapitel C.3.2 beschriebene Phase (3) einsetzt und $BE(t)$ wieder abfällt.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Sachstandsbericht Hydrogeologie			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 447 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Aufgrund dieser Ausführungen erscheint es zwingend erforderlich, für die Interpretation von Daten zur Korrelation zwischen dem Luftdruck und dem beobachteten Wasserspiegel in einem Standrohr die charakteristische Zeit des Druckausgleichs zwischen der Filterstrecke und dem GW-Leiter $t_{ws,char}$ zu ermitteln und mit den charakteristischen Zeiten von Luftdruckänderungen sowie, beim möglichen Vorliegen von ungespannten Verhältnissen, mit der charakteristischen Zeit $t_{v,char}$ zu vergleichen.

C.5 Auswertung und Interpretation von Felddaten

Die oben abgeleiteten Beziehungen sind – unter anderem – Ausgangspunkt der Ausführungen in [Rasmussen & Crawford 1997] und [Spane 2002]. Der Artikel [Spane 2002] erscheint insofern von Interesse, als er die oben dargestellten Prozesse ebenfalls in ihrem Zusammenspiel diskutiert und ein sehr umfangreiches Literaturverzeichnis enthält.

Felddaten liegen i.d.R. für diskrete Zeitpunkte vor, die typischerweise um 15 min. oder mehr auseinander liegen. [Rasmussen & Crawford 1997] stellen in interessanter Weise Ansätze für die Auswertung solcher Zeitreihen vor. Einer dieser Ansätze geht von einer diskreten Konvolution zwischen dem hydraulischen Potential in der Filterstrecke $h_{tB}(t_n)$ und vergangenen Luftdruckänderungen, approximiert durch eine Serie von stufenförmigen Änderungen $\Delta p_{atm}(t_{n-i})$, aus:

$$h_{tB}(t_n) = \text{const} + \sum_{i=0}^{\infty} u(\tau_i) \cdot \Delta p_{atm}(t_n - \tau_i) \quad (\text{C-28})$$

wobei τ_i die Zeitverschiebung zwischen dem auslösenden Luftdruckanstieg und dessen Auswirkung in der Filterstrecke in diskretisierter Weise parametrisiert.

Die „Funktion“ $u(\tau)$ ist die barometrische Antwortfunktion (barometric response function). Der Vergleich mit der Definitionsgleichung von $BE(t)$, Gl. (C-16), ergibt unter Verwendung von Gl. (C-4) und angewendet auf einen einmaligen Luftdruckanstieg bei $t=0$, d.h. mit $\Delta p_{atm}(t_j) = 0$ für $j \neq 0$:

$$u(\tau) = \frac{1}{\rho \cdot g} \cdot (1 - BE(\tau)) \quad (\text{C-29})$$

Durch Darstellung der stufenhaften Luftdruckänderung als Differenz des Luftdrucks an zwei aufeinanderfolgenden Messzeitpunkten (und mit geeigneter Änderung der Indexierung):

$$\Delta p_{atm}(t_j) = p_{atm}(t_j) - p_{atm}(t_{j-1}) \quad (\text{C-30})$$

ergibt sich aus Gl. (C-28):

$$h_{tB}(t_n) = \text{const} + u(0) \cdot p_{atm}(t_n) + \sum_{j=1}^{\infty} \Delta u(\tau_j) \cdot p_{atm}(t_n - \tau_j) \quad (\text{C-31})$$

mit



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 448 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

$$\Delta u(\tau_j) = u(\tau_j) - u(\tau_{j-1}) \quad (\text{C-32})$$

Die Antwortfunktion $\Delta u(\tau)$ bezieht sich auf kurze Luftdrucksignale der Dauer zwischen zwei Messungen; in [Rasmussen & Crawford 1997] wird sie als *barometric response to a barometric pressure pulse* bezeichnet.

[Rasmussen & Crawford 1997] führen im weiteren aus, dass im Falle eines gespannten GW-Leiters sowohl Korrelationen zwischen Luftdruck und beobachtbarem Wasserspiegel im Standrohr als auch zwischen den Änderungen dieser Größen von einem Messpunkt zum nächsten ermittelt werden können. Sie stellen dies – mit Ergänzungen durch den Autor dieses Anhangs – wie folgt dar:

Es sei $B(t_i)$ der Luftdruck $p_{\text{atm}}(t_i)$ abzüglich des Mittelwerts und des linearen Trends während der betrachteten Periode
 $W(t_i)$ $\rho \cdot g \cdot h(t_i)$ abzüglich des Mittelwerts und des linearen Trends während der betrachteten Periode

Zwischen den beiden derart definierten Zeitreihen werden nun lineare Regressionen ermittelt:

$$W(t_i) = -\alpha_L(\tau_k) \cdot B(t_i - \tau_k) + \delta W_{ik} \quad \text{mit} \quad \sum_I \delta W_{ik}^2 \text{ minimal} \quad (\text{C-33})$$

wobei allerdings in [Rasmussen & Crawford 1997] keine Aussage zu einem Einbezug von Zeitverschiebungen gemacht wird.

In analoger Weise können lineare Regressionen zwischen den Änderungen von einem Messzeitpunkt zum nächsten ermittelt werden:

$$\Delta W(t_i) = -\alpha_S(\tau_k) \cdot \Delta B(t_i - \tau_k) + \delta \Delta W_{ik} \quad \text{mit} \quad \sum_I \delta \Delta W_{ik}^2 \text{ minimal} \quad (\text{C-34})$$

mit $\Delta W(t_i) = W(t_i) - W(t_{i-1})$ und $\Delta B(t_i) = B(t_i) - B(t_{i-1})$.

Nach [Rasmussen & Crawford 1997] quantifiziert α_L die Systemreaktion auf langzeitige, anhaltende Änderungen des Luftdrucks, während α_S die kurzzeitigen Reaktionen auf schnelle Luftdruckänderungen beschreibt. Für gespannte GW-Leiter ohne Messstellen-Speichereffekte sollten nach [Rasmussen & Crawford 1997] die beiden Korrelationskoeffizienten ohne Zeitverzug, d.h. $\alpha_L(0)$ und $\alpha_S(0)$, gleich sein. Bei einem ungespannten GW-Leiter sollte $\alpha_L(0) < \alpha_S(0)$ gelten. Leider leiten [Rasmussen & Crawford 1997] keine Beziehung zwischen $u(\tau_k)$ und $\alpha_L(0)$ oder $\alpha_S(0)$ ab.

Das Programm BETCO [Sandia 2005] ist ein öffentlich verfügbares Programm, das den barometrischen Einfluss in einer GWM auf der Basis der Konvolution Gl. (C-28) durch Analyse der Zeitreihen ermittelt. Die Beschreibung von BETCO in [Toll & Rasmussen 2007] erlaubt die Vermutung, dass die mit BETCO ermittelte „cumulative response versus lag-time“ (Bezeichnung in [Sandia 2005]) bzw. die „step response function“ (Bezeichnung in [Toll & Rasmussen 2007]) der Größe $BE(\tau)$ in der Notation des vorliegenden Anhangs gemäß Gln. (C-16) und (C-29) entspricht. Dies



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 449 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

wird nachfolgend skizziert. Dabei werden alle Faktoren und additiven Terme weggelassen, die für die Umrechnung der Luftdruckeinheit [Pa] in die Einheit des hydraulischen Potentials [mNN] sowie für die Subtraktion von Mittelwerten und linearen Trends erforderlich sind. Mit diesen Vereinfachungen der Darstellung gilt:

$$h_{tB}(t_n) = W(t_n) + B(t_n) \tag{C-35}$$

Und mit Gl. (C-28):

$$W(t_n) = -B(t_n) + \sum_{i=0}^{\dots} u(\tau_i) \cdot \Delta B(t_n - \tau_i) \tag{C-36}$$

$$W(t_{n-1}) = -B(t_{n-1}) + \sum_{j=1}^{\dots} u(\tau_{j-1}) \cdot \Delta B(t_n - \tau_j) \tag{C-37}$$

Durch Differenzbildung ergibt sich mit $\Delta W(t_n) = W(t_n) - W(t_{n-1})$ sowie $\Delta B(t_n) = B(t_n) - B(t_{n-1})$:

$$\Delta W(t_n) = [u(0) - 1] \cdot \Delta B(t_n) + \sum_{j=1}^{\dots} \Delta u(\tau_j) \cdot \Delta B(t_n - \tau_j) \tag{C-38}$$

mit $\Delta u(\tau_j)$ gemäß Gl. (C-32).

Der Vergleich von Gl. (C-38) mit Gl. (2) in [Toll & Rasmussen 2007] ergibt folgende Identifikationen:

[Toll & Rasmussen 2007]	dieser Anhang
$\alpha(0)$	$u(0) - 1$
$\alpha(j) \ j > 0$	$\Delta u(\tau_j)$

Die in Gl. (3) von [Toll & Rasmussen 2007] definierte Größe $A(i)$ wird dort als „step barometric response function“ bezeichnet. Die oben rechts auf der Benutzeroberfläche von BETCO gezeigte Funktion trägt nach [Toll & Rasmussen 2007] die gleiche Bezeichnung. In der im vorliegenden Anhang verwendeten Notation ist allerdings:

$$A(i) \equiv \sum_{j=1}^i \alpha(j) = \sum_{j=1}^i \Delta u(\tau_j) = u(\tau_i) - u(0) \tag{C-39}$$

Andererseits ist, unter Verwendung von G. (C-29) und mit Weglassen der Faktoren für die Umrechnung zwischen den Druckeinheiten „Pa“ und „m Wassersäule“:

$$\alpha(0) + A(i) = u(\tau_i) - 1 = -BE(\tau_i) \tag{C-40}$$

Nach Gl. (3) von [Toll & Rasmussen 2007], in der die Summation bei $j=1$ beginnt, wäre $A(0)$ nicht definiert. Gleichwohl wird in Abbildung 1 der gleichen Publikation ein Wert für die „step barometric response function“ für den Lag 0 angegeben. Aus diesem Grund wird der Summationsbeginn bei



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 450 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

$j = 1$ in Gl. (3) als Flüchtigkeits- oder Druckfehler in [Toll & Rasmussen 2007] interpretiert und aufgrund des Vorzeichens der „step response function“ gemäß BETCO auch das „falsche“ Vorzeichen ignoriert. Die „step barometric response function“ von BETCO wird mit $BE(\tau)$ gleichgesetzt.

Ein zweites frei zugängliches Programm, KGS_BRF, wurde vom Kansas Geological Survey publiziert [KGS 2011]. Nachdem KGS_BRF für die gleichen Zeitreihen und die gleiche Vorgabe des maximalen Lags exakt das gleiche Ergebnis wie BETCO liefert, dürften beide Programme den gleichen Algorithmus anwenden, und die Interpretation der Ergebnisse von KGS_BRF unterliegt dem gleichen Vorbehalt wie jene von BETCO.

Es ist darauf hinzuweisen, dass für die Anwendung beider Programme die Maximallänge des Lags, d.h. die Anzahl Summanden in Gl. (C-36)ff, vorgegeben werden muss. Bei der Analyse von Zeitreihen können die Ergebnisse $BE(\tau)$ bereits für relativ kleine Lag-Längen τ von der gewählten Maximallänge abhängen. Dies ist vermutlich als Indiz zu interpretieren, dass das Ergebnis der Analyse keinen kausalen Zusammenhang widerspiegelt und deshalb verworfen werden sollte. Sofern die Maximallänge des Lags die physikalisch bedingten zeitlichen Verzögerungen abdeckt und die Zeitreihen ausreichend lang sind, sollten die Ergebnisse bei maßvollen Änderungen der Maximallänge des Lags stabil sein. Erst bei sehr großen Lag-Längen sollte das Gleichungssystem aufgrund der damit eingeführten hohen Zahl an Unbekannten numerisch schlecht determiniert und somit instabil werden.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 451 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

ANHANG D: NIEDERSCHLAGSDATEN

Tab. D.1: Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2002.

Jahr	2001	2001	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002
Tag/Monat	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.
	Tagessumme (mm)											
1.	2	2,2	0,1	–	5,7	–	–	–	5,7	7,7	–	–
2.	0,1	3,9	0,3	–	–	–	1,9	–	0,9	2,3	–	–
3.	–	–	–	–	0,3	–	12,2	0,2	0,9	–	–	2,4
4.	–	3,5	–	–	0,3	–	18,6	0,2	3,3	0,9	–	0,7
5.	0,1	6	–	0,7	0,3	–	0,4	0,6	0,3	8,2	–	8,9
6.	1,7	6,7	0,5	–	0,6	–	1,1	20,3	–	–	–	8,1
7.	2,7	–	–	0,2	4,7	–	–	5,7	0,8	–	–	0,2
8.	5,6	–	0,3	1,2	0,7	–	–	7,2	0,4	6,1	–	–
9.	0,1	–	–	5,9	1,9	0,1	–	–	2	0,4	–	0,1
10.	–	–	–	1,1	0,5	–	–	0,6	8,5	22,5	–	–
11.	–	0,1	–	6,4	0,2	0,2	0,4	1,2	0,5	–	–	0,1
12.	3,0	0,7	0,2	7,5	0,4	0,3	–	4,2	4,6	3,5	–	0,3
13.	0,2	0,9	–	–	6,7	5,9	0,6	2,3	–	–	–	–
14.	3,0	–	–	0,1	1,1	7,4	1,1	1	2,8	–	–	7,7
15.	–	0,4	–	–	0,6	13,1	0,7	8	0,2	–	–	1
16.	–	–	–	–	–	9,6	–	–	0,4	–	0,1	2,9
17.	0,6	0,3	–	–	–	0,4	0,4	–	105	–	1,4	0,3
18.	0,1	0,4	0,6	0,4	0,7	0,4	1,9	1,6	36,2	–	0,2	0,6
19.	0,6	3,6	0,2	0,8	5,6	7,3	0,8	–	4,1	0,1	0,6	2
20.	–	1,2	4,7	3,4	3,5	0,1	–	9,2	–	–	–	–
21.	0,1	5,7	3,5	–	9	–	0,7	0,2	8,2	0,2	1,8	6,3
22.	6,3	6,6	0,2	4	1,4	–	–	–	0,7	0,2	6,8	4
23.	–	–	0,4	1,5	0,2	–	5,2	0,6	3,1	–	1,9	7,6
24.	1,9	–	1,5	7,7	–	–	0,8	–	0,7	–	0,1	–
25.	2,4	16,5	0,4	–	–	8,1	–	0,2	1,9	–	0,9	1,4
26.	2,8	0,1	2,6	3,9	–	4,3	0,1	0,2	0,2	–	2,7	4,8
27.	–	–	14	5,8	–	3	4,4	2,8	–	–	0,6	5,4
28.	1,0	4,2	6,6	1,6	–	1,4	1,1	2,1	–	–	1,9	11,2
29.	3,4	0,7	–	–	–	4,2	–	–	–	–	–	0,6
30.	0,2	2,8	–	–	–	0,9	0,1	–	–	–	0,5	2,2
31.	–	1,3	2,8	–	–	–	0,4	–	0,2	–	–	–
Monatssumme	37,9	67,8	38,9	52,2	44,4	66,7	52,9	68,4	191,6	52,1	19,5	78,8
Niederschlags- tage (≥0,1 mm/d)	21	21	17	17	20	17	20	20	24	11	13	23
Niederschlags- tage (≥1 mm/d)	12	13	7	12	9	10	9	12	12	6	6	15
Jahreswerte	Gesamtniederschlag: 771,2 mm						Niederschlagstage (≥0,1 mm/d): 224					



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 452 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. D.2: Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2003.

Jahr	2002	2002	2003	2003	2003	2003	2003	2003	2003	2003	2003	2003
Monat	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.
Tagessumme (mm)												
1.	0,8	–	7,6	–	–	0,1	–	–	1,5	–	–	1,4
2.	17,9	3,8	14,7	–	0,8	–	–	–	8,7	–	–	2,5
3.	8,4	–	10,9	2,2	0,2	–	–	–	1,9	–	–	20,3
4.	0,7	0,1	0,9	1	0,1	–	–	–	0,8	–	–	5,2
5.	0,5	0,4	0,5	0,1	–	–	–	13,8	1	–	–	0,6
6.	–	–	2,2	0,1	4,7	–	–	–	–	–	–	1,2
7.	3,9	–	0,7	1,2	–	–	–	–	0,3	–	12,9	6,7
8.	1,2	–	0,2	0,8	–	–	–	11,6	–	–	2,7	6,7
9.	7	0,1	–	–	–	–	–	–	0,8	–	–	2,3
10.	–	–	–	0,1	–	–	–	1,9	–	–	22,2	0,4
11.	12,6	0,1	–	–	–	–	–	–	0,8	–	36,9	–
12.	0,1	–	0,1	–	–	–	4,1	–	–	–	–	0,5
13.	2,8	–	6,3	–	–	–	1,5	–	–	–	–	–
14.	1,4	–	1,7	–	–	–	0,5	–	–	–	–	–
15.	0,9	–	0,3	–	–	–	1	–	–	–	–	–
16.	5,5	2,9	0,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
17.	8,6	2,9	–	–	–	–	–	–	10,2	–	–	–
18.	0,2	0,7	0,3	–	–	–	4,7	0,3	–	4,5	–	–
19.	0,1	–	0,2	–	–	–	6,5	0,5	–	0,1	–	–
20.	–	–	–	0,1	–	–	–	2,2	–	–	–	–
21.	0,1	–	0,2	–	–	–	0,1	–	–	–	–	1,4
22.	5,3	11	0,3	–	0,1	–	–	–	11	–	–	–
23.	1,9	–	0,1	–	–	–	–	10,6	1,1	7,6	3,2	–
24.	–	0,8	1,5	–	–	–	–	–	0,1	–	–	–
25.	–	4,7	–	–	–	0,1	–	–	4,8	–	–	0,3
26.	–	3,8	0,1	–	0,1	–	–	–	2,1	–	–	13,2
27.	–	3	0,8	–	–	–	0,5	–	2,5	–	–	–
28.	–	0,9	8,2	0,1	–	–	–	–	1,7	0,2	2,4	–
29.	21,8	1,9	3,2	–	–	0,1	–	–	–	15,4	1,9	1,5
30.	9,8	29,2	1,9	–	–	–	–	1,5	–	–	–	1,4
31.	–	1,5	2,5	–	–	–	–	–	–	1	–	2,1
Monatssumme	111,5	67,8	65,5	5,7	6	0,3	18,9	42,4	49,3	28,8	82,2	67,7
Niederschlags- tage (≥0,1 mm/d)	22	17	25	9	6	3	8	8	16	6	7	17
Niederschlags- tage (≥1 mm/d)	14	10	11	3	1	0	5	6	11	4	7	13
Jahreswerte	Gesamtniederschlag: 546,1 mm						Niederschlagstage (≥0,1 mm/d): 144					



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 453 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. D.3: Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2004.

Jahr	2003	2003	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004
Tag/Monat	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.
Tagessumme (mm)												
1.	–	–	–	3,9	1,8	–	–	3	2,3	–	0,1	0,1
2.	–	–	–	7,2	0,9	–	4,9	4,6	–	–	–	2,2
3.	5,9	–	–	0,1	2,1	–	0,1	–	4,5	–	–	–
4.	–	0,1	4,5	0,2	–	–	–	5,2	0,7	–	–	–
5.	–	–	–	0,5	–	–	5,2	5,1	2,7	–	–	–
6.	–	2,1	11,8	0,3	1,9	–	33,1	–	–	–	–	5,4
7.	–	–	1	12,1	0,1	–	18,2	–	2	–	–	–
8.	–	–	–	7,9	–	–	–	–	8,9	–	–	–
9.	–	–	5,6	1,9	2,5	–	0,4	2	0,9	–	–	–
10.	–	–	1,2	6,7	2,5	–	–	–	2,9	–	–	–
11.	–	0,5	4	1,7	0,3	–	–	17,9	0,5	–	3	–
12.	–	0,6	9,3	0,3	–	–	–	1,8	3	16,1	–	–
13.	0,1	15,9	2,7	0,5	–	–	–	2,3	3,2	3,1	–	–
14.	–	11	3,2	0,8	–	–	–	–	1,8	–	0,2	–
15.	0,4	3,3	8	–	–	–	0,4	0,8	1,5	–	–	0,3
16.	7,3	2,8	4,3	–	–	–	–	–	3,8	0,2	0,1	–
17.	7,2	–	0,9	–	–	–	–	2,7	7	0,8	–	3
18.	–	–	0,2	–	–	–	–	1,8	45	2,4	–	–
19.	0,1	–	11,2	–	7,9	3,6	–	2,3	–	1,4	1	–
20.	–	0,4	1,6	–	2,9	0,1	0,8	0,1	11,4	0,6	0,1	3,7
21.	–	2,2	0,5	–	1,3	–	4,2	5,8	–	25,6	–	0,2
22.	–	–	–	–	6,3	–	1,4	–	4,9	–	5,9	–
23.	–	–	–	–	–	–	0,7	12,9	–	–	4,7	0,1
24.	–	–	0,9	–	–	8,6	–	0,1	7,4	1,5	5,4	–
25.	–	–	5,8	2,6	–	–	–	1,5	3,8	0,2	6,6	2,4
26.	0,1	–	1,8	0,3	–	–	–	–	0,6	12,5	3,2	–
27.	0,9	0,5	–	0,9	–	–	0,4	1,4	0,6	4,9	0,2	–
28.	5	–	0,3	–	–	–	–	0,4	–	3,5	0,1	–
29.	–	–	1,5	–	–	–	–	2,7	–	1,9	4,7	2
30.	1,4	–	7	–	–	–	–	–	–	14,1	0,6	3
31.	–	–	–	–	–	–	2,2	–	–	8,9	–	0,5
Monatssumme	28,4	39,4	87,3	47,9	30,5	12,3	72	74,4	119,4	97,7	42,8	22,9
Niederschlags-tage (≥0,1 mm/d)	10	11	22	17	12	3	13	20	22	16	16	12
Niederschlags-tage (≥1 mm/d)	5	6	17	8	9	2	7	16	17	12	9	7
Jahreswerte	Gesamtniederschlag: 675,0 mm						Niederschlagstage (≥0,1 mm/d): 174					



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 454 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. D.4: Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2005.

Jahr	2004	2004	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005
Tag/Monat	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.
Tagessumme (mm)												
1.	–	–	0,9	–	–	–	–	–	0,1	–	–	9,3
2.	–	–	0,7	2,8	0,3	–	–	1,1	–	–	4,4	–
3.	–	–	1,9	0,1	1,4	–	2,0	–	0,2	1,1	–	–
4.	1	–	0,1	–	–	–	0,9	0,2	0,5	–	–	–
5.	0,1	–	0,7	–	–	0,5	–	5,3	–	7	–	–
6.	7,5	–	1,7	–	–	–	9,2	0,1	3,2	0,9	–	–
7.	–	–	–	–	–	1,4	10,2	2,8	4,8	6,1	–	–
8.	–	–	0,4	–	0,2	1,6	1	–	6,1	1,2	–	–
9.	6,2	–	–	–	1,1	–	2	–	0,8	0,2	–	–
10.	0,3	–	–	3,5	–	2	2,7	1,0	–	1,9	–	–
11.	–	–	–	–	6,7	–	2,4	–	–	–	1,1	–
12.	0,2	–	0,1	9,5	3,3	–	–	–	–	9	0,4	–
13.	–	–	2,6	4,8	0,4	–	–	1,4	–	1,6	–	–
14.	–	–	–	–	–	–	5,7	–	–	11,2	–	–
15.	–	–	–	1,3	–	0,4	1,7	–	0,1	–	6,8	–
16.	4,8	–	–	0,1	–	–	–	–	–	–	18,2	–
17.	8,4	2,9	–	0,1	1,3	5,5	2,6	1,8	–	–	–	–
18.	9,9	3,8	8	0,9	2,2	16,8	–	–	8,7	–	–	–
19.	13,4	0,1	1,1	1,3	3,2	–	–	–	0,7	–	–	–
20.	3,7	–	9,3	0,6	–	–	0,2	–	0,4	0,1	–	–
21.	–	–	8,1	–	–	–	0,6	–	24,3	–	–	–
22.	4,8	–	4,2	–	–	–	6,1	–	3,3	0,1	–	7,6
23.	4	3,2	0,7	–	1,6	–	0,5	–	0,4	1,2	–	14,6
24.	–	3,6	2	1,2	–	–	–	–	–	–	–	8,2
25.	–	2,7	1,4	1,1	3,6	0,4	–	–	15,5	2,2	–	–
26.	0,6	–	–	2,4	0,1	0,3	–	1,2	1,6	1,5	13,8	13,6
27.	0,9	–	–	–	–	5,6	–	–	1,5	–	1,9	–
28.	0,6	2,2	0,1	0,4	–	–	0,8	–	17,7	–	2,3	–
29.	0,2	1	–	–	2,6	0,9	–	–	2	–	7,7	–
30.	–	–	1,3	–	–	–	10,1	0,6	5,3	–	–	–
31.	–	–	5,8	–	0,2	–	1,3	–	0,5	0,4	–	0,4
Monatssumme	66,6	19,5	51,1	30,1	28,2	35,4	60	15,5	97,7	45,7	56,6	53,7
Niederschlags- tage (≥0,1 mm/d)	17	8	20	15	15	11	18	10	21	16	9	6
Niederschlags- tage (≥1 mm/d)	10	7	12	9	10	6	13	7	12	11	8	5
Jahreswerte	Gesamtniederschlag: 560,1 mm						Niederschlagstage (≥0,1 mm/d): 166					



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 455 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. D.5: Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2006.

Jahr	2005	2005	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006
Tag/Monat	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.
Tagessumme (mm)												
1.	4,8	–	–	–	0,3	1,9	0,4	1,4	–	0,5	–	3,6
2.	–	–	0,5	–	–	1,9	0,2	–	–	–	2,3	–
3.	1,9	–	–	0,1	–	2	–	1,2	–	–	8,3	–
4.	0,2	4,9	–	0,1	–	0,2	–	–	–	–	0,3	0,1
5.	2,5	4,4	–	–	0,1	–	–	–	–	0,1	–	–
6.	–	–	–	0,9	2,6	0,8	–	4,1	4,1	3,7	–	0,4
7.	1,1	0,8	–	7,9	0,6	–	–	–	16,5	–	1,7	5,3
8.	–	2,7	–	1,5	0,1	0,3	–	–	3,3	0,8	–	–
9.	–	–	–	0,8	5,4	0,2	–	–	5,6	2,9	–	–
10.	–	–	–	2,6	3,7	–	–	–	–	0,2	–	–
11.	–	–	1,3	0,1	1,5	–	–	–	–	0,2	–	–
12.	–	0,1	–	–	0,1	1,4	–	–	–	0,6	–	–
13.	–	0,5	–	–	–	4,9	8,8	–	0,5	–	–	–
14.	–	0,9	–	–	–	0,9	–	–	–	2,5	–	–
15.	2,3	2,3	–	0,2	–	–	–	1,1	–	6,3	–	–
16.	3,7	12,7	–	0,1	–	3,3	–	22,9	–	2,6	–	–
17.	2,1	1,6	4	2	–	2,5	–	–	–	–	–	–
18.	–	1,9	2,2	0,2	–	2,6	3,2	–	–	5,7	–	–
19.	–	3,1	1	0,2	–	–	3,9	4,6	–	0,3	–	–
20.	8,5	2,7	1,3	3,8	–	–	2,6	0,1	2,6	9,2	–	0,2
21.	8,4	0,7	15,9	0,8	–	–	1,7	–	–	4,8	–	–
22.	–	0,6	–	0,1	–	1,7	0,7	–	–	3,4	–	–
23.	–	3,2	–	–	–	0,1	–	–	0,3	0,1	–	0,3
24.	0,1	1	–	–	2,4	–	1,9	–	–	4	–	2,7
25.	–	–	2,6	–	3,9	–	4,3	0,1	–	0,6	–	–
26.	–	2,3	–	0,5	11	0,1	4,7	0,2	–	18,6	1,7	0,1
27.	–	–	–	–	7,5	–	3,6	0,2	–	3,3	1,2	0,3
28.	3,5	0,3	–	–	–	2,2	4,2	–	1,5	12,5	0,2	3,6
29.	0,4	2,1	–	–	0,9	0,7	7,2	–	0,7	7,7	–	10,6
30.	–	–	–	–	1,1	0,6	0,6	–	0,3	0,5	–	–
31.	–	3,5	0,1	–	3,3	–	7,3	–	–	–	–	3,7
Monatssumme	39,5	52,3	28,9	21,9	44,5	28,3	55,3	35,9	35,4	91,1	15,7	30,9
Niederschlags- tage (≥0,1 mm/d)	13	21	9	17	16	19	16	10	10	24	7	12
Niederschlags- tage (≥1 mm/d)	10	14	7	5	10	10	12	6	6	14	5	6
Jahreswerte	Gesamtniederschlag: 479,7 mm						Niederschlagstage (≥0,1 mm/d): 174					



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 456 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. D.6: Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2007.

Jahr	2006	2006	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007
Tag/Monat	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.
Tagessumme (mm)												
1.	1,1	–	3,6	0,9	1,4	–	–	–	1,1	–	0,5	2,4
2.	–	–	0,9	1,4	4,8	–	–	0,3	6	3,5	–	0,5
3.	0,8	2	0,1	1,4	6,7	2	–	0,1	4,4	–	14,5	0,5
4.	0,8	0,3	1,6	0,4	–	–	–	–	6,4	–	1,8	6,1
5.	1,2	0,7	0,5	0,5	0,1	–	–	0,3	1,1	–	0,3	0,3
6.	–	3,5	6,9	–	–	–	–	–	1,2	–	0,2	0,1
7.	–	–	6,2	0,5	0,1	–	38,3	4,9	0,8	0,5	0,8	–
8.	0,4	–	0,4	4,2	–	–	3,7	–	–	0,1	2,7	–
9.	2,2	–	0,6	0,2	3,2	–	–	–	3,9	–	0,4	0,5
10.	–	–	3	0,3	–	–	8,1	–	0,1	4,8	14	–
11.	2,1	3,5	6,8	0,9	–	–	11,3	–	4,7	26,3	4	–
12.	5,7	2,4	0,6	5,5	–	–	5,3	–	0,8	–	0,1	0,4
13.	2	0,9	0,1	4,7	–	–	1,5	–	0,4	0,1	–	–
14.	0,2	–	1,5	5,1	–	–	2,2	7,4	4,2	–	0,4	–
15.	–	–	–	0,1	–	–	3,9	12,6	–	1,2	–	–
16.	–	2,2	2,4	–	–	–	3,1	6,7	–	4,7	–	–
17.	–	0,1	2,3	–	4,5	–	–	–	–	–	16,3	3,8
18.	0,3	–	21,3	–	4	–	–	10,6	–	–	6,4	3,7
19.	0,6	–	1,7	–	–	–	–	–	0,1	–	–	–
20.	0,1	0,5	4,3	–	0,2	–	–	0,1	–	–	–	–
21.	0,6	–	0,6	2,0	6,9	–	–	22,7	0,5	24	–	1,7
22.	–	–	0,7	–	30,5	–	–	0,9	13,4	0,2	–	–
23.	2,1	–	–	–	0,7	0,2	0,6	14,6	1	7,5	–	–
24.	0,9	–	–	0,1	1,5	–	5,5	–	11,4	10,3	0,2	–
25.	–	0,3	–	1,7	–	3,8	0,2	2,4	–	–	5,9	–
26.	–	–	0,6	4,9	–	–	1,8	8,2	–	–	–	1,3
27.	–	–	0,1	7,4	–	–	25,5	0,1	0,9	–	11	0,1
28.	–	2,3	2,2	3,5	–	–	4,9	0,9	15	0,2	19	–
29.	0,5	0,4	6,5	–	–	–	30,9	0,5	20,6	–	36,8	2,1
30.	–	–	0,3	–	–	–	0,1	2	4,8	1,1	0,4	5,3
31.	–	5,4	0,3	–	–	–	–	–	0,1	5,5	–	–
Monatssumme	21,6	24,5	76,1	45,7	64,6	6	146,9	95,3	102,9	90	135,7	28,8
Niederschlags- tage (≥0,1 mm/d)	17	14	27	20	13	3	17	18	23	15	20	15
Niederschlags- tage (≥1 mm/d)	7	7	14	11	9	2	14	10	15	10	11	8
Jahreswerte	Gesamtniederschlag: 838,1 mm						Niederschlagstage (≥0,1 mm/d): 202					



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 457 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. D.7: Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2008.

Jahr	2007	2007	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008
Tag/Monat	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.
	Tagessumme (mm)											
1.	–	2,1	0,6	–	15,2	1,1	0,6	–	–	62,2	0,2	10,6
2.	4,4	1,7	0,4	1,4	7,2	3,4	–	–	–	0,1	–	–
3.	3,3	9,5	–	–	2,2	4	–	5,8	5,8	1,2	1,7	–
4.	0,4	0,3	–	–	–	0,8	–	0,5	9,5	5,2	–	0,2
5.	1,1	0,4	–	–	–	14	–	–	1,9	–	6,4	4,2
6.	6,1	2,9	5,4	9,7	–	2,7	–	–	–	0,1	12,3	1,4
7.	9,3	5	8,7	–	0,5	4,2	–	–	0,5	–	–	–
8.	3,5	–	0,1	–	0,3	0,5	–	–	2,6	7,2	–	–
9.	6,4	1,5	0,4	–	–	2,4	–	–	–	–	–	–
10.	11,2	3,1	–	–	–	0,9	–	–	7,9	3,7	–	–
11.	6,7	9,3	–	–	0,3	0,9	–	–	19,9	0,1	–	–
12.	5,9	0,1	–	–	8,7	1	–	6,9	0,7	2,4	–	–
13.	8,9	–	–	–	3,2	1,4	–	8,8	0,1	0,3	–	0,1
14.	1,7	–	–	–	1,6	15,4	–	2,5	–	–	0,3	0,6
15.	0,1	0,1	–	–	–	0,3	–	1,4	–	–	–	0,8
16.	0,7	–	1	–	9,1	–	6,6	1,6	9,4	–	–	2,9
17.	0,9	–	3	–	0,3	0,1	7,7	–	–	–	0,1	–
18.	0,2	–	3,6	–	6,5	–	–	–	2,5	0,8	–	–
19.	–	–	12	–	3	–	–	4,6	18,3	0,9	–	–
20.	–	–	20,9	–	1	–	–	–	4,3	1,7	–	–
21.	–	–	14,3	0,2	2,9	–	–	0,1	12,4	–	1	4
22.	–	–	3	0,1	11,2	–	–	10,9	9,5	31,7	1,6	0,1
23.	0,5	0,1	–	–	–	–	–	–	–	6,4	0,1	–
24.	–	–	1,6	1	0,7	0,2	–	–	–	7,6	17,9	–
25.	3,6	–	–	1,3	5,1	5,1	5,1	0,6	2,3	6,6	–	0,1
26.	1,9	–	0,8	0,5	1,9	–	0,1	–	0,1	0,1	–	–
27.	–	–	14,4	–	–	–	–	–	–	–	–	6,6
28.	–	–	1,3	–	–	6,9	–	0,6	–	0,8	–	–
29.	0,2	–	–	1,2	0,7	10,5	–	–	–	0,2	0,7	–
30.	1,5	0,2	2,1	–	–	1,5	–	–	–	–	0,4	13,2
31.	–	0,2	–	–	–	–	12,5	–	–	–	–	0,3
Monatssumme	78,5	36,5	93,6	15,4	81,6	77,3	32,6	44,3	107,7	139,3	42,7	45,1
Niederschlags- tage (≥0,1 mm/d)	22	15	18	8	20	21	6	12	17	20	12	14
Niederschlags- tage (≥1 mm/d)	15	8	13	5	14	14	4	8	13	11	6	7
Jahreswerte	Gesamtniederschlag: 794,6 mm						Niederschlagstage (≥0,1 mm/d): 185					



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 458 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. D.8: Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2009.

Jahr	2008	2008	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009
Tag/Monat	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.
Tagessumme (mm)												
1.	0,1	7,5	–	0,7	0,3	–	–	–	–	–	2,7	1,2
2.	–	0,9	2,3	–	0,2	–	–	–	–	12,9	0,4	1,4
3.	0,1	–	0,6	–	–	–	11,7	–	–	0,4	2,7	–
4.	–	–	13,4	–	–	–	0,1	0,6	–	–	7,7	1,1
5.	1	–	–	–	–	–	0,4	–	–	0,3	3,2	1,3
6.	–	1,8	–	–	5,4	–	8,9	6,8	0,9	–	0,1	8
7.	0,4	1,2	–	5,2	1,6	0,3	–	5,8	0,5	–	–	10
8.	0,1	–	–	–	0,9	–	1	–	7	0,4	–	29,3
9.	–	–	–	0,1	0,3	0,1	4	0,3	0,4	–	–	–
10.	–	0,1	–	5,6	8,1	–	3,2	–	4,3	–	0,9	8
11.	1,1	1,4	–	0,7	3,1	–	0,1	3,4	3,5	2,5	–	9,9
12.	–	0,5	–	–	5,2	–	–	4	2,4	5,7	–	5,2
13.	–	–	–	3	0,1	–	–	–	–	–	18,1	–
14.	0,6	–	0,4	–	1,2	–	–	–	0,1	–	1,8	–
15.	0,1	–	–	0,7	5,5	–	4,6	11,4	–	–	3,4	0,1
16.	1,5	–	–	4,5	0,5	–	16,3	0,3	–	–	18,5	14,1
17.	–	0,3	–	4,5	–	0,1	0,1	–	0,1	1,5	–	8,7
18.	1,6	0,1	0,5	–	–	–	1,8	0,1	11,4	–	–	0,9
19.	0,1	1,8	0,1	1,7	–	–	0,1	0,7	1,5	–	–	–
20.	6,4	0,2	–	2,2	–	–	0,4	2	2,8	–	–	–
21.	4,7	0,1	–	4,3	–	0,7	–	0,9	3,3	11,4	–	–
22.	2,6	1,8	–	2,4	–	4	0,7	3,3	5,2	–	–	3,4
23.	–	0,7	1,2	–	8	–	–	–	11,1	–	–	0,5
24.	–	1	3,1	0,5	2,6	–	–	–	4,6	–	–	–
25.	0,7	0,1	–	–	3	–	–	–	11,4	6,3	–	1
26.	0,1	–	–	6,5	2	–	–	1	–	0,1	–	2
27.	–	–	–	3,7	1,8	–	0,2	0,1	–	–	–	1,9
28.	–	–	–	10,1	2,7	9,1	0,5	–	–	–	–	–
29.	1,5	–	–	–	0,1	9,5	–	–	–	0,5	13	–
30.	–	–	–	–	–	–	0,1	–	1,4	–	1,7	–
31.	–	–	–	–	–	–	0,7	–	–	–	–	–
Monatssumme	22,7	19,5	21,6	56,4	52,6	23,8	54,9	40,7	71,9	42	74,2	108
Niederschlags- tage (≥0,1 mm/d)	17	16	8	17	20	7	19	15	18	11	13	19
Niederschlags- tage (≥1 mm/d)	8	7	4	12	13	3	8	8	13	6	10	16
Jahreswerte	Gesamtniederschlag: 588,3 mm						Niederschlagstage (≥0,1 mm/d): 180					



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 459 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. D.9: Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2010.

Jahr	2009	2009	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010
Tag/Monat	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.
Tagessumme (mm)												
1.	1,1	–	1,4	0,1	0,7	0,2	0,5	0,6	–	3,2	2,1	–
2.	15,1	–	4	0,9	1,1	–	0,1	0,4	–	8,0	4,7	0,1
3.	6,3	–	2,6	1,5	–	0,5	18,9	–	–	5,9	–	–
4.	5,2	5	–	1,3	0,8	2,4	4,5	–	–	2,0	3	–
5.	0,4	0,4	–	–	4	0,1	–	–	–	8,6	–	–
6.	–	9,4	–	–	0,9	–	7,4	–	0,3	0,7	–	–
7.	0,2	–	–	–	–	–	0,7	1,8	–	–	–	–
8.	–	4,4	–	–	–	0,3	0,4	0,8	–	0,8	12	–
9.	3,2	–	0,9	–	–	–	–	2,3	–	1,5	8,2	–
10.	1,2	25,9	2,2	1	–	1,6	–	17,3	–	–	0,9	–
11.	–	2,2	0,5	0,5	0,4	–	–	13,8	–	2,1	–	–
12.	1	2,3	–	2,3	1,3	0,2	0,2	0,7	2,4	33,4	0,9	–
13.	0,8	0,1	–	1,2	0,3	–	0,1	–	0,9	0,7	0,7	0,2
14.	–	–	–	–	2,5	–	0,8	–	8,2	0,6	14,2	0,7
15.	1	–	–	–	5,9	–	10,8	–	0,4	6,2	4,1	12,6
16.	0,5	–	–	–	0,3	–	–	–	–	0,7	6,5	7,6
17.	1,5	–	2,7	–	–	–	–	–	1,3	14,7	3,7	0,6
18.	–	0,2	2,3	0,2	–	–	–	–	–	1,5	–	–
19.	–	–	3,5	–	–	–	22,9	2,2	–	–	–	0,1
20.	–	1,1	0,6	–	0,5	0,1	3,8	0,8	–	–	–	5,9
21.	–	–	–	0,2	1,8	0,2	–	–	–	–	–	1,9
22.	0,4	1,2	–	0,2	–	–	–	–	2,5	2,4	4,6	–
23.	8,8	–	–	4,3	–	0,1	–	–	0,3	0,1	–	–
24.	2	–	–	1,6	–	–	5,3	–	–	0,7	0,9	0,9
25.	–	7,5	–	–	–	–	–	–	–	0,1	7,2	0,1
26.	1,5	–	–	1,2	13,9	6,3	7,4	–	0,4	31,7	11,2	–
27.	0,5	–	0,3	–	1,7	–	3,7	–	0,1	25,6	37,7	0,7
28.	0,3	0,7	1,9	2,8	6,7	–	8,2	–	2,1	3,8	0,5	–
29.	–	0,9	3,8	–	4,3	–	–	–	0,6	4,1	0,2	–
30.	2	11,2	–	–	0,2	–	10,9	–	–	7,9	–	–
31.	–	5,3	0,1	–	0,2	–	4,5	–	–	–	–	–
Monatssumme	53	77,8	26,8	19,3	47,5	12	111,1	40,7	19,5	167	123,3	31,4
Niederschlags- tage (≥0,1 mm/d)	20	16	14	15	19	11	19	10	12	25	19	12
Niederschlags- tage (≥1 mm/d)	13	11	9	9	10	3	12	5	5	17	13	4
Jahreswerte	Gesamtniederschlag: 729,4 mm						Niederschlagstage (≥0,1 mm/d): 192					



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 460 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. D.10: Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2011.

Jahr	2010	2010	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011
Tag/Monat	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.
	Tagessumme (mm)											
1.	–	3,4	0,1	–	–	–	–	–	2	–	–	–
2.	–	1,6	0,1	0,2	–	–	–	–	10	–	–	–
3.	3,9	–	0,3	–	–	11,6	–	–	12,5	2,9	–	–
4.	2,5	–	0,2	–	–	6,4	–	–	1,1	1,4	9,3	–
5.	7,6	–	–	–	–	0,1	–	–	–	3,3	0,7	–
6.	13,3	–	3,8	0,4	–	–	–	3,1	3,2	0,3	0,1	9,5
7.	0,3	–	1	–	–	0,1	–	–	0,4	0,5	2,1	3,8
8.	–	4,4	–	–	–	–	–	9,1	0,2	5	13,3	2,9
9.	–	1,0	3,9	–	1	–	–	–	–	1,6	–	6,2
10.	2,2	0,1	–	1,3	–	–	–	–	1,8	–	0,3	1,8
11.	3,2	7,2	–	4,7	1,8	–	–	1,2	–	0,3	6,1	8,6
12.	3,6	2	5,1	3,5	–	1,7	0,2	0,1	–	18,8	–	0,1
13.	20	2,1	8,3	1,6	–	0,5	–	–	10,2	–	–	0,2
14.	1,4	0,2	9,5	–	1,6	–	–	–	6,6	3,3	0,2	–
15.	0,1	3	0,8	5,9	–	–	3,3	0,1	–	1,8	–	–
16.	2,4	–	–	–	–	–	1,2	3,2	–	–	–	–
17.	0,1	0,8	–	0,2	6	–	0,4	0,3	0,2	–	–	–
18.	5,3	–	5,7	–	0,2	–	–	1,5	0,7	5,2	–	1,2
19.	–	3,9	3	–	–	–	–	3,1	–	2,4	–	–
20.	–	3,2	–	–	–	–	–	–	1,1	–	–	0,3
21.	–	–	–	–	–	–	–	0,2	–	0,4	1,1	–
22.	19,1	0,9	–	–	–	–	1,0	18,4	–	–	0,1	–
23.	5,3	9,8	–	–	–	–	–	4	–	31	–	–
24.	2,4	3,1	0,4	–	–	–	–	1,1	–	16,5	–	–
25.	1,9	–	4,5	–	–	–	–	1,9	0,1	–	–	–
26.	–	–	0,5	–	0,1	4,5	–	2,3	–	1,3	–	–
27.	–	0,3	0,1	0,3	–	5,2	0,6	–	–	13	–	–
28.	–	0,1	–	–	–	1,7	–	–	–	0,1	–	–
29.	1,2	–	–	–	–	–	0,1	0,9	–	1,6	–	–
30.	–	–	–	–	–	–	–	23	10,9	–	–	–
31.	–	0,2	–	–	0,2	–	0,1	–	2,8	–	–	–
Monatssumme	95,8	47,3	47,3	18,1	10,9	31,8	6,9	73,5	63,8	110,7	33,3	34,6
Niederschlags- tage (≥0,1 mm/d)	19	19	17	9	7	9	8	17	16	20	10	10
Niederschlags- tage (≥1 mm/d)	16	12	9	5	4	6	3	12	11	15	5	7
Jahreswerte	Gesamtniederschlag: 574 mm						Niederschlagstage (≥0,1 mm/d): 161					

ANHANG E: HYDROCHEMISCHE ANALYSENDATENSÄTZE

Tab. E.1: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H3 (2003-2010).

Probe		H3-2003-89	H3-2007-85	H3-2010-85
Labor		K-UTEC	AUA	K-UTEC
Proben-Nr.		03-1969/03	12489/2.1-07 L 7	10-0768/03
Probennahmedatum		22.09.2003	05.09.2007	03.06.2010
T	°C		11	12,4
O ₂	mg/l			9,73
pH		7,59	7,24	7,1
pH (lab)				7,5
Eh	mV			516
Eh (lab)	mV	439		472
LF	µS/cm		700	1174
LF (lab)	µS/cm	1430	792	1170
LF (calc)	µS/cm	1009	543	1165
Dichte	g/cm ³		1,000	1,000
Dichte (lab)	g/cm ³	1,001	1,003	1,001
TDS (lab)	mg/l			816
TDS (calc)	mg/l	683	643	1069
DOC	mg/l			5,2
Hauptinhaltsstoffe				
Na	mg/l	65	20	38
K	mg/l	2,1	2,8	3,4
Ca	mg/l	85	0,37	106
Mg	mg/l	75	64	70
Cl	mg/l	170	44	105
HCO ₃	mg/l	140	443	634
SO ₄	mg/l	102	41	67
Begleitstoffe				
CO ₂	mg/l	5,1	22,0	28,4
CO ₃	mg/l	<0,1	n.n.	
Fe(II)	mg/l	0,32	0,07	
Fe(III)	mg/l	0,22	0,06	
Fe _{gesamt}	mg/l		0,13	
Mn	mg/l	0,003	0,17	
NO ₂	mg/l		n.n.	
NO ₃	mg/l	42,47	27	32
NH ₄	mg/l		n.n.	
PO ₄	mg/l			
Spurenstoffe				
Al	mg/l		0,053	
As	mg/l			
B	mg/l	0,56	0,091	0,12
Br	mg/l	<1	0,09	2,7
Cd	mg/l			
Co	mg/l			
Cr	mg/l			0,01
Cu	mg/l			
F	mg/l			
I	mg/l			
Li	mg/l	<0,1	0,04	
Ni	mg/l			0,004
Pb	mg/l			
Rb	mg/l	0,3	0,001	
Si	mg/l			10,2
Sr	mg/l	0,8	0,4	1
U	mg/l			0,008
Th	mg/l			
Zn	mg/l			0,03
Σ Kationen	mmol(eq)/l	13,3	6,2	12,8
Σ Anionen	mmol(eq)/l	9,9	9,8	15,3
IBF	%	14,8	-22,2	-8,8
Mg/Ca		1,5	284,9	1,1
Na/Cl		0,6	0,7	0,6
Na/K		53	12	19
Cl/Br			1102	88
GW-Typus		Mg-Ca-Na-Cl-HCO ₃ -SO ₄	Mg-HCO ₃	Mg-Ca-HCO ₃

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Sachstandsbericht Hydrogeologie			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 462 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. E.2: Hydrochemische Analysendatensätze für Schacht Asse 1 (2003-2011).

Probe		S1-2003-90m	S1-2003-141m	S1-2011-40m	S1-2011-60m	S1-2011-112m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC
Proben-Nr.		03-1969/12	03-1969/13	11-0700/04	11-0700/05	11-0700/06
Probennahmedatum		13.10.2003	13.10.2003	09.05.2011	09.05.2011	09.05.2011
T	°C	23,3	23,3	18,5	14,6	13,6
O ₂	mg/l			1,52	1,52	0,24
pH		7,62	7,64	7,4	7,4	7,4
pH (lab)				7,62	7,55	7,52
Eh	mV	443	446	260	316	332
Eh (lab)	mV			418	411	429
LF	µS/cm	3650	3630	3140	3080	3080
LF (lab)	µS/cm			3050	3040	3030
LF (calc)	µS/cm	4122	4152	4569	5466	4548
Dichte	g/cm ³	1,002	1,002	1,001	1,001	1,002
Dichte (lab)	g/cm ³			1,002	1,002	1,001
TDS (lab)	mg/l	2370	2400	2238	2196	1376
TDS (calc)	mg/l	2389	2419	2887	3463	2859
DOC	mg/l			7,2	5,99	6,4
Hauptinhaltsstoffe						
Na	mg/l	271	267	241	239	239
K	mg/l	10	10	12	12	12
Ca	mg/l	291	304	253	260	250
Mg	mg/l	144	152	130	133	128
Cl	mg/l	721	712	550	544	567
HCO ₃	mg/l	316	336	517	500	497
SO ₄	mg/l	617	622	1160	1750	1140
Begleitstoffe						
CO ₂	mg/l	9,80	9,80	15,80	17,63	19,14
CO ₃	mg/l			<10	<10	<10
Fe(II)	mg/l	0,18	0,16	<0,032	<0,032	<0,032
Fe(III)	mg/l	0,02	0,05	<0,032	<0,032	<0,032
Fe _{gesamt}	mg/l					
Mn	mg/l	0,01	0,01	<1	<1	<1
NO ₂	mg/l			<0,22	<0,22	<0,22
NO ₃	mg/l	12,45	11,43	10	9,5	11
NH ₄	mg/l			0,54	0,63	0,45
PO ₄	mg/l	1,79	0,30	<0,033	<0,033	0,04
Spurenstoffe						
Al	mg/l			<0,049	<0,049	<0,049
As	mg/l			<0,0016	0,0016	0,0016
B	mg/l			<0,01	<0,01	<0,01
Br	mg/l	19,57	12	1	2	3
Cd	mg/l			<0,00062	<0,00062	<0,00062
Co	mg/l			<0,01	<0,01	<0,01
Cr	mg/l			<0,001	<0,001	<0,001
Cu	mg/l			<0,01	<0,01	<0,01
F	mg/l			<0,07	<0,07	<0,07
I	mg/l			<1	<1	<1
Li	mg/l			<0,1	<0,1	<0,1
Ni	mg/l			0,03	0,07	0,01
Pb	mg/l			0,01	<0,0077	<0,0077
Rb	mg/l			<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/l			8,66	8,88	8,69
Sr	mg/l	3,1	3,1	3	3	3
U	mg/l					
Th	mg/l					
Zn	mg/l			0,2	0,027	0,031
Σ Kationen	mmol(eq)/l	38,4	39,5	34,1	34,6	33,7
Σ Anionen	mmol(eq)/l	38,6	38,7	48,3	60,1	48
IBF	%	-0,3	1,1	-17,2	-26,9	-17,5
Mg/Ca		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Na/Cl		0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
Na/K		45	44	34	34	34
Cl/Br				954	613	473
GW-Typus		Ca-Mg-Na-Cl-SO ₄	Ca-Mg-Na-Cl-SO ₄	Ca-Mg-Na-SO ₄ -Cl	Ca-Mg-Na-SO ₄ -Cl	Ca-Mg-Na-SO ₄ -Cl

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.3: Hydrochemische Analysendatensätze für Schacht Asse 3 (2004-2011).

Probe		S3-2004-10m	S3-2004-100m	S3-2004-300m	S3-2011-185m	S3-2011-575m	S3-2011-600m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC
Proben-Nr.		04-0815/01	04-0815/02	04-0815/03	11-0700/01	11-0700/02	11-0700/03
Datum		12.05.2004	12.05.2004	12.05.2004	10.05.2011	10.05.2011	10.05.2011
T	°C	17,8	18,5	18,4	16,3	18,2	16,8
O ₂	mg/l				1,47	9,81	10,08
pH		7,79	9,18	8,17	10	7,9	7,5
pH (lab)					9,55	7,83	7,26
Eh	mV	431	342	400	-31	119	201
Eh (lab)	mV				395	406	411
LF	µS/cm	3320	22000	200000	159300	251000	253000
LF (lab)	µS/cm				153000	246000	246000
LF (calc)	µS/cm	4270	28147	388633	269585	691459	689479
Dichte	g/cm ³	1,003	1,010	1,123	1,086	1,207	1,207
Dichte (lab)	g/cm ³				1,085	1,207	1,205
TDS (lab)	mg/l	2830	15090	190500	131960	338540	337220
TDS (calc)	mg/l	2596	13458	181660	126298	323704	322722
DOC	mg/l				24,6	10	11,5
Hauptinhaltsstoffe							
Na	mg/l	232	4061	67514	46300	117000	117000
K	mg/l	44	86	207	585	2000	2000
Ca	mg/l	378	747	3036	2310	4890	4970
Mg	mg/l	89	1	26	11	1850	1800
Cl	mg/l	256	6949	106868	73300	196000	195000
HCO ₃	mg/l	195	6	36	28	61	60
SO ₄	mg/l	1296	1568	3860	3710	1630	1610
Begleitstoffe							
CO ₂	mg/l	4	< 0,1	< 0,1	<0,1	1	3
CO ₃	mg/l	< 0,1	12,00	< 0,1	24,6	<10	<10
Fe(II)	mg/l	0,14	0,08	0,29	<0,032	<0,032	<0,032
Fe(III)	mg/l	0,04	0,04	0,04	<0,032	0,22	0,2
Fe _{gesamt}	mg/l						
Mn	mg/l	0,03	0,00		<1	1,21	1,23
NO ₂	mg/l				<0,22	<0,02	<0,22
NO ₃	mg/l	99,40	9,6	1,86	0,8	1	0,5
NH ₄	mg/l	0,10	8,95	2,24	5,30	7,30	7,20
PO ₄	mg/l	0,40	2,15	0,20	0,10	0,16	0,12
Spurenstoffe							
Al	mg/l				0,05	<0,049	<0,049
As	mg/l				0,01	<0,0016	<0,0016
B	mg/l	1,50		3,46	0	1	1
Br	mg/l		7	67	20	210	210
Cd	mg/l				<0,00062	0,00	0,00
Co	mg/l				0,02	<0,01	<0,01
Cr	mg/l				0,01	0,003	0,012
Cu	mg/l				<0,01	<0,01	<0,01
F	mg/l				0,15	<0,07	<0,07
I	mg/l				<1	26,40	37
Li	mg/l	0,10	0,10	3,20	<0,1	0,12	<0,1
Ni	mg/l				0,05	0,003	0,01
Pb	mg/l				<0,0077	0,06	0,03
Rb	mg/l			0,8	<0,1	2,40	2,30
Si	mg/l				4,03	1,35	1,50
Sr	mg/l	4,3	12,8	34	22	19	19
U	mg/l						
Th	mg/l						
Zn	mg/l				0,15	0,29	0,17
Σ Kationen	mmol(eq)/l	37,4	216,7	3095,9	2145,5	5537,2	5537,1
Σ Anionen	mmol(eq)/l	39,0	228,9	3094,6	2144,7	5562,1	5533,5
IBF	%	-2,1	-2,7	0,02	0,02	-0,2	0,03
Mg/Ca		0,4	0,002	0,014	0,008	0,6	0,6
Na/Cl		1,4	0,9	1,0	0,97	0,9	0,9
Na/K		9	80	554	134	99	99
Cl/Br			2338	3617	8262	2104	2093
GW-Typus		Na-Ca-SO ₄	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.4: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM 24b (2002-2003).

Probe		H24b-2002-110m	H24b-2002-170m	H24b-2003a-110m	H24b-2003a-170m	H24b-2003b-110m	H24b-2003b-170m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC
Proben-Nr.		02-1550/02	02-1550/01	03-0660/08	03-0660/09	03-1536/02	03-1536/01
Probennahmedatum		26.09.2002	26.09.2002	02.04.2003	02.04.2003	21.08.2003	21.08.2003
T	°C						
O ₂	mg/l						
pH		6,99	6,68			7,04	6,58
pH (lab)			7,01	6,96	6,68	7,29	7,05
Eh	mV	149	154			170	164
Eh (lab)	mV	326	483	494	497	466	485
LF	µS/cm						
LF (lab)	µS/cm	140000	148600	142200	151100	141100	149700
LF (calc)	µS/cm	229783	253955	237814	256678	235092	254726
Dichte	g/cm ³						
Dichte (lab)	g/cm ³	1,078	1,084	1,079	1,085	1,080	1,085
TDS (lab)	mg/l						
TDS (calc)	mg/l	109951	121047	113736	122571	113014	122360
DOC	mg/l						
Hauptinhaltsstoffe							
Na	mg/l	35973	38925	36859	39689	36610	39831
K	mg/l	199	232	214	245	216	256
Ca	mg/l	2008	4208	3279	3738	2559	2715
Mg	mg/l	1946	2189	2341	2402	2826	2975
Cl	mg/l	65150	70666	66412	71675	66236	71803
HCO ₃	mg/l	61	59	52	53	79	66
SO ₄	mg/l	4222	4321	4206	4352	4131	4296
Begleitstoffe							
CO ₂	mg/l	1,57	5,35	5,30	10,30	3,80	5,40
CO ₃	mg/l	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	<0,1	<0,1
Fe(II)	mg/l	0,47	0,87	0,64	1,29	0,82	2,84
Fe(III)	mg/l	1,37	4,56	2,13	5,33	1,02	3,66
Fe _{gesamt}	mg/l						
Mn	mg/l	1,28	2,67	1,10	2,26	1,13	3,05
NO ₂	mg/l						
NO ₃	mg/l	2,39	1,66	0,36	0,21	<0,1	<0,1
NH ₄	mg/l						
PO ₄	mg/l						
Spurenstoffe							
Al	mg/l						
As	mg/l						
B	mg/l					8,10	11,20
Br	mg/l	300	340	293	320	266	306
Cd	mg/l						
Co	mg/l						
Cr	mg/l						
Cu	mg/l						
F	mg/l						
I	mg/l						
Li	mg/l	10,90	9,80	4,80	4,40	5,60	5,90
Ni	mg/l						
Pb	mg/l						
Rb	mg/l	0,2	0,2	0,1	n.n.	0,2	0,3
Si	mg/l						
Sr	mg/l	71,5	82,8	67	79	71	81
U	mg/l						
Th	mg/l						
Zn	mg/l						
Σ Kationen	mmol(eq)/l	1830,1	2089,2	1965,0	2116,8	1958,1	2119,4
Σ Anionen	mmol(eq)/l	1926,1	2083,7	1961,2	2112,6	1955,1	2115,3
IBF	%	-2,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Mg/Ca		1,6	0,9	1,2	1,1	1,8	1,8
Na/Cl		0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9
Na/K		307	285	293	275	288	264
Cl/Br		490	469	511	505	561	529
GW-Typus		Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.4 (Fortsetzung): Hydrochemische Analysendatensätze der GWM 24b (2004-2006).

Probe		H24b-2004-170m	H24b-2004-110m	H24b-2006-110m	H24b-2006-170m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	AUA	AUA
Probennahmedatum		04-1590/01	04-1590/02	10788/1.1-06 L1	10788/1.1-06 L2
Datum		21.09.2004	21.09.2004	13.09.2006	13.09.2006
T	°C			13,9	13,7
O ₂	mg/l				
pH		7,03	6,72	6,98	6,91
pH (lab)		7,33	7,24	6,5	6,8
Eh	mV	162	167		
Eh (lab)	mV	469	425	323	327
LF	µS/cm				
LF (lab)	µS/cm	151300		131700	140500
LF (calc)	µS/cm	260136	240171	270222	292227
Dichte	g/cm ³			1,086	1,092
Dichte (lab)	g/cm ³	1,087	1,081	1,086	1,091
TDS (lab)	mg/l				
TDS (calc)	mg/l	124637	114818	130038	140092
DOC	mg/l				
Hauptinhaltsstoffe					
Na	mg/l	40241	37222	38000	41000
K	mg/l	268	226	38000	41000
Ca	mg/l	3366	3286	2900	3100
Mg	mg/l	2821	2383	2400	2600
Cl	mg/l	73082	67256	79900	87400
HCO ₃	mg/l	46	43	76	73
SO ₄	mg/l	4386	4024	5300	4500
Begleitstoffe					
CO ₂	mg/l	2	2,30	52,80	57,20
CO ₃	mg/l	<0,1	<0,1	n.n.	n.n.
Fe(II)	mg/l	1,83	0,72	3,80	7,50
Fe(III)	mg/l	4,00	1,76	0,82	<0,01
Fe _{gesamt}	mg/l			4,60	7,50
Mn	mg/l	2,57	1,27	1,50	4,60
NO ₂	mg/l			<0,01	<0,01
NO ₃	mg/l	0,63	0,39	190	140
NH ₄	mg/l			9,60	10
PO ₄	mg/l				
Spurenstoffe					
Al	mg/l			0,30	0,25
As	mg/l				
B	mg/l	5,23	4,42	11	11
Br	mg/l	340	300	750	670
Cd	mg/l				
Co	mg/l				
Cr	mg/l				
Cu	mg/l				
F	mg/l				
I	mg/l				
Li	mg/l	3,50	3,90	4,70	4,60
Ni	mg/l				
Pb	mg/l				
Rb	mg/l	0,2	0,1	0,16	0,18
Si	mg/l				
Sr	mg/l	65	62	80	92
U	mg/l				
Th	mg/l				
Zn	mg/l				
Σ Kationen	mmol(eq)/l	2157,4	1984,9	2006,0	2164,9
Σ Anionen	mmol(eq)/l	2152,9	1981,0	2367,7	2561,7
IBF	%	0,1	0,1	-8,3	-8,4
Mg/Ca		1,4	1,2	1,4	1,4
Na/Cl		0,8	0,9	0,7	0,7
Na/K		255	280	161	148
Cl/Br		485	505	240	294
GW-Typus		Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.4 (Fortsetzung): Hydrochemische Analysendatensätze der GWM 24b (2007-2010).

Probe		H24b-2007a-170m	H24b-2007a-110m	H24b-2007b-110m	H24b-2007b-170m	H24b-2010-170m	H24b-2010-110m
Labor		AUA	AUA	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC
Probennahmedatum		12489/3.1-07 L8	12489/3.1-07 L8	07-1484/01	07-1484/01	10-0790/02	10-0790/03
Datum		05.09.2007	07.09.2007	07.09.2007	07.09.2007	15.06.2010	15.06.2010
T	°C	14,1	13,1	13,1	14,1	13,9	13
O ₂	mg/l			12,66	12,6	11,28	11,7
pH		6,85	6,95	6,95	6,85	7	7
pH (lab)		8,5	7	7,04	6,64	7,02	7,11
Eh	mV					196	240
Eh (lab)	mV	339	333	466	475	416	427
LF	µS/cm	125500	114700	114700	125500	163000	147600
LF (lab)	µS/cm	19450	132700	147000	159000	160000	146000
LF (calc)	µS/cm	274556	247016	255465	278117	285842	251024
Dichte	g/cm ³	1,093	1,086	1,086	1,093	1,096	1,086
Dichte (lab)	g/cm ³	1,097	1,088	1,084	1,091	1,190	1,078
TDS (lab)	mg/l					151100	141800
TDS (calc)	mg/l	131305	118061	122041	133394	136538	120080
DOC	mg/l					26,3	26,4
Hauptinhaltsstoffe							
Na	mg/l	42000	40000	39510	42390	43900	38200
K	mg/l	42000	40000	39510	42390	43900	38200
Ca	mg/l	3400	3100	3527	3687	4000	3690
Mg	mg/l	2700	2500	2481	3356	2770	2530
Cl	mg/l	78100	68200	71560	78881	80500	70400
HCO ₃	mg/l	46	62	25	42	83	117
SO ₄	mg/l	4000	3300	4150	4130	4090	4080
Begleitstoffe							
CO ₂	mg/l	48,00	53,00	n.n.	n.n.	7,29	8,44
CO ₃	mg/l	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	<10	<10
Fe(II)	mg/l	6,70	3,50	0,96	2,17	<0,032	<0,032
Fe(III)	mg/l	2,60	1,40	0,56	2,89	<0,032	<0,032
Fe _{gesamt}	mg/l	9,30	4,90				
Mn	mg/l	5,00	1,40	2,64	0,79	3,67	1,66
NO ₂	mg/l	n.n.	n.n.	0,01	0,01	<0,22	<0,22
NO ₃	mg/l	0,71	0,62	0,28	0,31	0,33	<0,21
NH ₄	mg/l	1,40	2,40	7,21	9,60	8,60	7,10
PO ₄	mg/l					<0,033	<0,033
Spurenstoffe							
Al	mg/l	2,90	3,20	0,05	0,04	<0,049	<0,049
As	mg/l			0,01	0,004	0,003	0,002
B	mg/l	10	10			10,40	11,80
Br	mg/l	420	350	320	379	380	289
Cd	mg/l					<0,00062	0,01
Co	mg/l					<0,01	<0,01
Cr	mg/l					0,01	0,02
Cu	mg/l			n.n.	n.n.	0,03	0,04
F	mg/l			0,30	0,30	<0,07	<0,07
I	mg/l					12,20	7,40
Li	mg/l	5,20	5,40	9,90	10,90	6,10	6,10
Ni	mg/l			0,01	0,01	0,01	0,01
Pb	mg/l			0,02	0,02	0,01	0,01
Rb	mg/l	0,19	0,18	n.n.	n.n.	0,60	0,50
Si	mg/l			4,87	2,50	1,66	2,48
Sr	mg/l	99	87	44	49	100	84
U	mg/l			n.n.	n.n.	0,0002	0,001
Th	mg/l					<0,001	<0,001
Zn	mg/l			0,273	0,213	0,150	0,080
Σ Kationen	mmol(eq)/l	2231,9	2111,5	2109,2	2315,9	2354,6	2070,9
Σ Anionen	mmol(eq)/l	2286,4	1992,9	2104,7	2311,0	2356,5	2072,1
IBF	%	-1,2	2,9	0,1	0,1	-0,04	-0,03
Mg/Ca		1,3	1,3	1,2	1,5	1,1	1,1
Na/Cl		0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8
Na/K		143	158	171	162	112	100
Cl/Br		419	439	504	469	478	549
GW-Typus		Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.5: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H1 (2003-2007).

Probe		H1-2003-65m	H1-2003-40m	H1-2007-30m	H1-2007-68m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	AUA	AUA
Probennahmedatum		03-1969/02	03-1969/01	12489/2.1-07 L5	12489/2.1-07 L6
Datum		29.09.2003	29.09.2003	05.09.2007	05.09.2007
T	°C			11,3	11,6
O ₂	mg/l				
pH		7,62	7,61	11,3	6,84
pH (lab)					
Eh	mV				
Eh (lab)	mV	434	427		
LF	µS/cm			1900	1900
LF (lab)	µS/cm	1859	2010		792
LF (calc)	µS/cm	2330	2567	3418	3282
Dichte	g/cm ³			1,000	1,001
Dichte (lab)	g/cm ³	1,002	1,002	1,005	1,004
TDS (lab)	mg/l				
TDS (calc)	mg/l	1476	1473	2081	2024
DOC	mg/l				
Hauptinhaltsstoffe					
Na	mg/l	29	44	52	35
K	mg/l	2,4	2,5	4,1	3,7
Ca	mg/l	301	351	470	470
Mg	mg/l	46	47	60	66
Cl	mg/l	66	107	130	82
HCO ₃	mg/l	255	70	342	345
SO ₄	mg/l	744	821	1000	1000
Begleitstoffe					
CO ₂	mg/l	8,1	2,3	8,8	18
CO ₃	mg/l	<0,1	<0,1	n.n.	n.n.
Fe(II)	mg/l	0,53	0,13	0,03	1,60
Fe(III)	mg/l	1,06	0,12	0,12	0,03
Fe _{gesamt}	mg/l			0,15	1,60
Mn	mg/l	<0,002	0,01	0,01	0,12
NO ₂	mg/l			n.n.	n.n.
NO ₃	mg/l	16,07	15,82	8,4	3,0
NH ₄	mg/l			n.n.	n.n.
PO ₄	mg/l				
Spurenstoffe					
Al	mg/l			0,1	n.n.
As	mg/l				
B	mg/l	0,74	0,24	0,26	0,22
Br	mg/l	<1	<1	0,11	0,11
Cd	mg/l				
Co	mg/l				
Cr	mg/l				
Cu	mg/l				
F	mg/l				
I	mg/l				
Li	mg/l	<0,1	<0,1	0,043	0,028
Ni	mg/l				
Pb	mg/l				
Rb	mg/l	0,1	<0,1	0,002	0,002
Si	mg/l				
Sr	mg/l	14,5	13,4	14	17
U	mg/l				
Th	mg/l				
Zn	mg/l				
Σ Kationen	mmol(eq)/l	20,1	23,4	30,8	30,6
Σ Anionen	mmol(eq)/l	21,8	21,5	30,2	28,8
IBF	%	-4	4,2	0,9	2,9
Mg/Ca		0,3	0,2	0,2	0,2
Na/Cl		0,7	0,6	0,6	0,7
Na/K		20	30	22	16
Cl/Br				2664	1680
GW-Typus		Ca-SO ₄	Ca-SO ₄	Ca-SO ₄	Ca-SO ₄

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.6: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H14 (2003-2010).

Probe		H14-2003-47m	H14-2007-47m	H14-2010-47m
Labor		K-UTEC	AUA	K-UTEC
Probennahmedatum		03-1969/05	12489/4.1-07 L12	10-07379/02
Datum		29.09.2003	11.09.2007	02.06.2010
T	°C		11,3	11,1
O ₂	mg/l			10,61
pH			7,17	7,5
pH (lab)			7,3	7,62
Eh	mV			229
Eh (lab)	mV	427	342	455
LF	µS/cm		3100	3730
LF (lab)	µS/cm	4320	3440	3610
LF (calc)	µS/cm	4376	4402	3858
Dichte	g/cm ³		1,001	1,001
Dichte (lab)	g/cm ³	1,002	1,002	1,001
TDS (lab)	mg/l			2850
TDS (calc)	mg/l	2351	2590	2109
DOC	mg/l			9,7
Hauptinhaltsstoffe				
Na	mg/l	116	110	82
K	mg/l	9	13	13,2
Ca	mg/l	309	430	309
Mg	mg/l	270	210	194
Cl	mg/l	1279	830	977
HCO ₃	mg/l	34	342	88
SO ₄	mg/l	300	610	416
Begleitstoffe				
CO ₂	mg/l	1,1	22,0	2,7
CO ₃	mg/l	<0,1	n.n.	<10
Fe(II)	mg/l	0,94	7,10	<0,032
Fe(III)	mg/l	1,13	0,44	0,26
Fe _{gesamt}	mg/l		7,80	
Mn	mg/l	0,08	0,11	<1
NO ₂	mg/l		n.n.	<0,22
NO ₃	mg/l	4,59		1,7
NH ₄	mg/l		n.n.	0,28
PO ₄	mg/l			<0,033
Spurenstoffe				
Al	mg/l		0,45	<0,049
As	mg/l			<0,001
B	mg/l	0,71	0,48	0,31
Br	mg/l	<1	6,70	2,0
Cd	mg/l			0,01
Co	mg/l			<0,01
Cr	mg/l			0,001
Cu	mg/l			<0,01
F	mg/l			0,23
I	mg/l			1,10
Li	mg/l	<0,1	0,04	<0,1
Ni	mg/l			0,03
Pb	mg/l			0,01
Rb	mg/l	0,4	0,004	<0,1
Si	mg/l			0,89
Sr	mg/l	26,3	30	23
U	mg/l			<0,0002
Th	mg/l			<0,001
Zn	mg/l			0,2
Σ Kationen	mmol(eq)/l	42,9	44,1	35,3
Σ Anionen	mmol(eq)/l	42,9	41,7	37,7
IBF	%	-0,02	2,8	-3,2
Mg/Ca		1,4	0,8	1
Na/Cl		0,1	0,2	0,1
Na/K		22	14	11
Cl/Br			279	1101
GW-Typus		Mg-Ca-Cl	Ca-Mg-Cl-SO ₄	Mg-Ca-Cl-SO ₄

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.7: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H23 (2003-2010).

Probe		H23-2003-150m	H23-2007a-150m	H23-2007b-150m	H23-2010-150m	H23-2010-80m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	AUA	K-UTEC	K-UTEC
Probennahmedatum		03-1969/07	07-1492/01	12489/4.1-07 L11	10-0674/02	10-0674/01
Datum		01.10.2003	10.09.2007	12.09.2007	18.05.2010	18.05.2010
T	°C		15,6	12,9	11,5	10,2
O ₂	mg/l		13,04		4,52	2,96
pH		7,78	7,32	7,32	7,3	7,3
pH (lab)			7,36	7,4	7,5	7,22
Eh	mV				442	426
Eh (lab)	mV	434	450	334	498	499
LF	µS/cm		900	900	1044	973
LF (lab)	µS/cm	1162	1110	980	1010	933
LF (calc)	µS/cm	1019	1345	1243	1084	872
Dichte	g/cm ³		1,000	1,000	1,000	1,000
Dichte (lab)	g/cm ³	1,000	1,000	1,002	1,001	1,001
TDS (lab)	mg/l				530	526
TDS (calc)	mg/l	693	1008	969	888	728
DOC	mg/l				17,7	9,48
Hauptinhaltsstoffe						
Na	mg/l	42,9	40,0	29,0	21,3	10,9
K	mg/l	4,5	4,1	5,7	3,9	1,5
Ca	mg/l	101	160	150	126	137
Mg	mg/l	51	55	50	46	23
Cl	mg/l	52	50	35	25	27
HCO ₃	mg/l	105	393	384	427	365
SO ₄	mg/l	295	280	270	216	107
Begleitstoffe						
CO ₂	mg/l	2,3	n.n.	18	19,00	31,48
CO ₃	mg/l	<0,1	n.n.	n.n.	<10	<10
Fe(II)	mg/l	1,71	0,42	5,80		<0,032
Fe(III)	mg/l	25,46	0,04	24		<0,032
Fe _{gesamt}	mg/l			29	0,13	
Mn	mg/l	0,004	0,05	0,07	<1	<1
NO ₂	mg/l		n.n.	n.n.	<0,22	<0,22
NO ₃	mg/l	<0,1	0,22	n.n.	2,90	37
NH ₄	mg/l		0,05	n.n.	<0,06	0,07
PO ₄	mg/l				<0,033	<0,033
Spurenstoffe						
Al	mg/l		n.n.	0,3	<0,049	<0,049
As	mg/l		n.n.		<0,001	<0,001
B	mg/l	0,97		0,30	0,20	
Br	mg/l	<1	n.n.	0,14	<1	<1
Cd	mg/l				<0,00062	<0,00062
Co	mg/l				<0,01	<0,01
Cr	mg/l				<0,001	0,001
Cu	mg/l		n.n.		<0,01	<0,01
F	mg/l		1,20		0,53	0,18
I	mg/l				<1	<1
Li	mg/l	<0,1	n.n.	0,03	<0,1	<0,1
Ni	mg/l		0,02		0,002	0,01
Pb	mg/l		0,003		<0,0077	<0,0077
Rb	mg/l	0,3	n.n.	0,003	<0,1	<0,1
Si	mg/l		10,30		6,56	6,51
Sr	mg/l	12,7	13,1	15	14	13
U	mg/l		n.n.		0,001	0,001
Th	mg/l				<0,001	<0,001
Zn	mg/l		0,03		0,030	0,015
Σ Kationen	mmol(eq)/l	11,3	14,4	13,2	11,1	9,3
Σ Anionen	mmol(eq)/l	9,3	13,7	12,9	12,2	9,6
IBF	%	9,4	2,4	1,2	-5	-1,6
Mg/Ca		0,8	0,6	0,5	0,6	0,3
Na/Cl		1,3	1,2	1,3	1,3	0,6
Na/K		16	17	9	9	12
Cl/Br				564		
GW-Typus		Ca-Mg-SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄			

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.8: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM P16 (2003-2010).

Probe		P16-2003-139m	P16-2004-106m	P16-2004-124m	P16-2004-114m	P16-2004a-69m	P16-2004b-69m	P16-2010-69m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC
Proben-Nr.		03-1716/02	04-0479/06	04-0479/08	04-0479/07	04-0479/10	04-0479/09	10-0598/01
Probennahmedatum		17.10.2003	24.03.2004	25.03.2004	25.03.2004	25.03.2004	25.03.2004	27.04.2010
T	°C	19,9	23,3	23,4	23,2	23,4	23,4	11,3
O ₂	mg/l							5,65
pH				7,41				7
pH (lab)			7,37		7,49	7,32	7,38	7,36
Eh	mV							494
Eh (lab)	mV	449	483	465	467	479	481	478
LF	µS/cm							949
LF (lab)	µS/cm	922	1012	1038	1210	943	943	914
LF (calc)	µS/cm	691	1025	1116	1353	1005	797	784
Dichte	g/cm ³							1,000
Dichte (lab)	g/cm ³	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,000
TDS (lab)	mg/l							454
TDS (calc)	mg/l	713	942	972	1121	966	976	543
DOC	mg/l							2,59
Hauptinhaltsstoffe								
Na	mg/l	6,7	12,8	26,6	57,6	7,5	7,4	5,7
K	mg/l	2,1	1,5	1,6	1,5	1,6	1,5	0,6
Ca	mg/l	72	110	120	130	106	12	168
Mg	mg/l	21	10	13	12	14	91	11,5
Cl	mg/l	20,4	37,0	52,0	109,0	19,9	21,3	16,9
HCO ₃	mg/l	432,5	635,4	639,3	681,6	701	716,4	235,0
SO ₄	mg/l	82,3	112	112	107	106	105	82,3
Begleitstoffe								
CO ₂	mg/l	53,40	39,30	35,90	31,60	48,70	43,60	14,70
CO ₃	mg/l	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<10
Fe(II)	mg/l	0,16	0,90	1,15	1,16	2,39	0,86	<0,032
Fe(III)	mg/l	0,04	0,64	0,23	0,14	0,82	0,08	0,13
Fe _{gesamt}	mg/l							
Mn	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<1
NO ₂	mg/l		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,22
NO ₃	mg/l	15,34	14,44	0,18	14,66	0,15	14,75	10
NH ₄	mg/l		0,23	0,37	0,24	0,37	0,38	<0,06
PO ₄	mg/l							<0,033
Spurenstoffe								
Al	mg/l		<0,1	0,1	0,13	0,27	0,04	0,06
As	mg/l							<0,0075
B	mg/l	<0,01	0,14	0,11	0,01	0,08	0,13	0,10
Br	mg/l	<1	2	1	2	2	1	<1
Cd	mg/l							<0,00062
Co	mg/l							<0,01
Cr	mg/l							0,00
Cu	mg/l							<0,01
F	mg/l							0,17
I	mg/l							<1
Li	mg/l	0,30	<0,1	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1
Ni	mg/l							0,01
Pb	mg/l							<0,0077
Rb	mg/l	<0,1	0,10	0,2	0,200	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/l							8,92
Sr	mg/l	59,7	4,6	4	4	4	4	4
U	mg/l							0,001
Th	mg/l							<0,001
Zn	mg/l							0,060
Σ Kationen	mmol(eq)/l	5,7	6,9	8,3	10,1	6,9	8,5	9,6
Σ Anionen	mmol(eq)/l	9,6	14,0	14,3	16,7	14,3	14,8	6,2
IBF	%	-25,9	-33,7	-26,4	-24,8	-34,7	-27,0	21,5
Mg/Ca		0,5	0,1	0,2	0,2	0,2	12,5	0,1
Na/Cl		0,5	0,5	0,8	0,8	0,6	0,5	0,5
Na/K		6	15	28	65	8	8	17
Cl/Br			46	81	162	28	36	
GW-Typus		Ca-Mg-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Mg-HCO ₃	Ca-HCO ₃ -SO ₄

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.9: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM PN1 und PN2 (2010).

Probe		PN1-2010-40.5m	PN1-2010-185m	PN2-2010-43.7m	PN2-2010-230m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC
Proben-Nr.		10-0556/01	10-0556/02	10-0556/03	10-0556/04
Probennahmedatum		21.04.2010	21.04.2010	21.04.2010	21.04.2010
T	°C	12,8	10,3	8,5	8,1
O ₂	mg/l	8,31	12,15	6,92	10,21
pH		7,501	7,39	8,141	7,52
pH (lab)			7,5		7,15
Eh	mV	478	456	404	389
Eh (lab)	mV	442	446	447	465
LF	µS/cm	3300	2840	2780	4110
LF (lab)	µS/cm	3240	2720	2690	3990
LF (calc)	µS/cm	5036	4480	4348	6031
Dichte	g/cm ³	1,002	1,001	1,002	1,003
Dichte (lab)	g/cm ³	1,001			
TDS (lab)	mg/l	2556			
TDS (calc)	mg/l	3080	2689	2533	3665
DOC	mg/l	2,91	5,41	2,74	3,48
Hauptinhaltsstoffe					
Na	mg/l	124	74,6	48,6	230
K	mg/l	5,2	13,1	6,2	16,9
Ca	mg/l	618	594	565	547
Mg	mg/l	55	28	63	110
Cl	mg/l	254	74,6	60	325
HCO ₃	mg/l	555	304	70,4	413
SO ₄	mg/l	1430	1540	1670	1990
Begleitstoffe					
CO ₂	mg/l	13,50	12,06	1,13	35,80
CO ₃	mg/l	<10	<10	<10	<10
Fe(II)	mg/l	<0,032	<0,032	0,15	0,09
Fe(III)	mg/l	<0,032	<0,032	0,08	0,08
Fe _{gesamt}	mg/l				
Mn	mg/l	<1	<1	<1	<1
NO ₂	mg/l	<0,22	<0,22	<0,22	<0,22
NO ₃	mg/l	8,4	27	22	1,4
NH ₄	mg/l	0,15	<0,06	<0,06	<0,06
PO ₄	mg/l		<0,033	<0,033	0,14
Spurenstoffe					
Al	mg/l	0,34	0,06	0,37	0,23
As	mg/l	<0,0075	<0,0075	<0,0075	<0,0075
B	mg/l	0,85	1,30	0,64	1,34
Br	mg/l	<1	9	2	<1
Cd	mg/l	<0,00062	<0,00062	<0,00062	<0,00062
Co	mg/l		<0,01	<0,01	<0,01
Cr	mg/l		0,002	0,002	0,001
Cu	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
F	mg/l	0,78	0,64	1,65	1,36
I	mg/l	<1	<1	<1	<1
Li	mg/l	<0,1	<0,1	0,14	0,11
Ni	mg/l	0,004	0,01	0,003	0,01
Pb	mg/l	0,01	0,01	<0,0077	<0,0077
Rb	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/l	14,7	14,7	10,30	17,50
Sr	mg/l	14	7,9	11,9	10,3
U	mg/l	0,003	0,01	0,007	0,003
Th	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Zn	mg/l	0,05	0,06	0,01	0,06
Σ Kationen	mmol(eq)/l	40,9	35,5	35,7	46,8
Σ Anionen	mmol(eq)/l	46,1	39,6	37,9	57,4
IBF	%	-6,1	-5,3	-3,1	-10,2
Mg/Ca		0,1	0,1	0,2	0,3
Na/Cl		0,8	1,5	1,2	1,1
Na/K		41	10	13	23
Cl/Br			19	68	
GW-Typus		Ca-SO ₄	Ca-SO ₄	Ca-SO ₄	Ca-Na-SO ₄

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.10: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM R5 (2002-2010).

Probe		R5-2002-830m	R5-2003-888m	R5-2004-888m	R5-2005-888m	R5-2006-888m	R5-2007a-888m	R5-2007b-888m	R5-2010-830m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	AUA	K-UTEC	AUA	K-UTEC	K-UTEC
Proben-Nr.		02-1550/08	03-1536/08	04-1590/08	10248/1.1-05L1	04-1590/08	12489/1.1-07L1	07-1434/01	10-0773/01
Probennahmedatum		08.10.2002	27.08.2003	13.09.2004	20.10.2005	26.09.2006	28.08.2007	28.08.2007	08.06.2010
T	°C	22,9	16,2	20,8	15,3	14,4	15,5		18,3
O₂	mg/l							24	7,55
pH		6,01	4,19	5,14	6,82	5,58	5,5		4,8
pH (lab)				5,28	4,8	5,6	3,3	4,36	5,42
Eh	mV	109	143	64					335
Eh (lab)	mV	234		413		613	254	453	467
LF	µS/cm				125000		800		250000
LF (lab)	µS/cm	213000	197900	213000	200000	220000	222000	244000	245000
LF (calc)	µS/cm	656168	668040	670463	556232	625184	645972	683546	719960
Dichte	g/cm ³		1,216		1,187	1,202	1,209		1,208
Dichte (lab)	g/cm ³	1,200	1,206	1,206	0,001	1,215	1,209	1,061	1,209
TDS (lab)	mg/l								373220
TDS (calc)	mg/l	306412	314732	313773	260869	293735	302799	321098	336772
DOC	mg/l								139
Hauptinhaltsstoffe									
Na	mg/l	106434	112119	111456	92000	100000	100000	111082	119000
K	mg/l	1174	469	543	1800	1300	1500	1240	1860
Ca	mg/l	9619	4691	7415	6900	7100	6900	8010	8260
Mg	mg/l	1581	3843	2067	1900	1800	1800	3404	1650
Cl	mg/l	185938	191994	190689	156000	180000	190000	195750	204000
HCO₃	mg/l	7	<0,1	0,2	24	6	n.n.	n.n.	52
SO₄	mg/l	601	617	617	1300	1800	1500	493	749
Begleitstoffe									
CO₂	mg/l	<0,1	<0,1	1,10	149	88	172	n.n.	172
CO₃	mg/l	0,10	<0,1	<0,1		n.n.	n.n.	n.n.	<10
Fe(II)	mg/l	0,60	15,92	19,74		40	48	45,86	65,30
Fe(III)	mg/l	2,65	6,40	5,85		2,30	3,10	2,90	<0,032
Fe_{gesamt}	mg/l				35	42	21		
Mn	mg/l	0,20	3,36	3,36	6,30	5,50	8,20	7,37	7,84
NO₂	mg/l				0,03	<0,01		n.n.	<0,22
NO₃	mg/l	0,42	2,3	1,28	2,3	120	1,40	4,45	3,9
NH₄	mg/l				46	54	1,40	42,90	45
PO₄	mg/l								<0,033
Spurenstoffe									
Al	mg/l				0,31	<0,01	0,08	0,07	<0,0049
As	mg/l								0,01
B	mg/l		9,4	4,11	13	12			17,1
Br	mg/l	846	779	812	690	1300	950	830	813
Cd	mg/l								<0,00062
Co	mg/l								<0,01
Cr	mg/l								0,18
Cu	mg/l							0,08	<0,01
F	mg/l							0,90	<0,07
I	mg/l								31,70
Li	mg/l	27,20	14,50	7,90	7,60	7,70	8,00	9,20	11,50
Ni	mg/l							0,18	0,29
Pb	mg/l							0,05	<0,0077
Rb	mg/l	0,001	0,0007	0,001	1,100	1,10	1,20	0,80	1,60
Si	mg/l							0,23	1,06
Sr	mg/l	181,1	158,0	121	170	170	78	171	190
U	mg/l							n.n.	<0,0002
Th	mg/l								<0,001
Zn	mg/l							2,840	1,73
Σ Kationen	mmol(eq)/l	5269,9	5439,9	5403	4551,4	4890,2	4882,8	5547,6	5777
Σ Anionen	mmol(eq)/l	5256,1	5427,1	5390,3	4426,7	5115,5	5389,2	5530,5	5769,3
IBF	%	0,1	0,1	0,1	1,4	-2,3	-4,9	0,2	0,1
Mg/Ca		0,3	1,3	0,5	0,5	0,4	0,4	0,7	0,3
Na/Cl		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9
Na/K		154	406	349	87	131	113	152	109
Cl/Br			556	529	510	312			566
GW-Typus		Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.11: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM R6 (2002-2005).

Probe		R6-2002-410m	R6-2002-470m	R6-2002-200m	R6-2003-470m	R6-2004-470m	R6-2005-470m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	AUA	k.A.	AUA
Proben-Nr.		02-1748/11	02-1748/12	02-1748/10	03-1536/09	k.A.	8640/1.1-05 L18
Probennahmedatum		11.06.2002	11.06.2002	06.11.2002	26.08.2003	14.12.2004	23.08.2005
T	°C				19,8		16,5
O ₂	mg/l						
pH		5,73	6,75	5,6	7,42	5,79	6,26
pH (lab)			6,9	5,95	7,17	6,19	5,5
Eh	mV	9	37	58	117	61	350
Eh (lab)	mV	248	393	280	372	425	361
LF	µS/cm				188900	224300	119300
LF (lab)	µS/cm	215000	231000	198000	191800	213000	200000
LF (calc)	µS/cm	453648	526106	386472	362922	431375	488205
Dichte	g/cm ³				1,115	1,154	1,163
Dichte (lab)	g/cm ³	1,143	1,162	1,122	1,115	1,136	1,160
TDS (lab)	mg/l						170000
TDS (calc)	mg/l	212651	246392	181506	170844	204085	229559
DOC	mg/l						
Hauptinhaltsstoffe							
Na	mg/l	78976	91837	66951	63353	75897	81000
K	mg/l	608	624	604	425	9	1100
Ca	mg/l	2645	2806	2565	1560	205	2200
Mg	mg/l	582	766	396	902	2454	1100
Cl	mg/l	125914	147051	106358	100663	122318	140000
HCO ₃	mg/l	1	1	268,9	24	2	n.n.
SO ₄	mg/l	3629	2954	4090	3671	2922	3700
Begleitstoffe							
CO ₂	mg/l	2,79	0,1	275,20		1	62
CO ₃	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	n.n.
Fe(II)	mg/l	2,44	1,52	2,43	2,52	3	
Fe(III)	mg/l	11,55	12,55	19,84	8,52	14,58	
Fe _{gesamt}	mg/l						25
Mn	mg/l	3,06	0,19	4,56	2,58	0,55	3,00
NO ₂	mg/l						0,01
NO ₃	mg/l	0,33	0,21	0,42	0,87	0,33	0,62
NH ₄	mg/l					15	23
PO ₄	mg/l						
Spurenstoffe							
Al	mg/l					0,00004	0,28
As	mg/l						
B	mg/l				8,5	3,7	19
Br	mg/l	226	273	193	180	213	320
Cd	mg/l						
Co	mg/l						
Cr	mg/l						
Cu	mg/l						
F	mg/l						
I	mg/l						
Li	mg/l	11,3	13,9	9,8	4,6	11,3	4,0
Ni	mg/l						
Pb	mg/l					0,03	0,28
Rb	mg/l	0,001	0,0005	0,001	0,001	n.n.	0,53
Si	mg/l						
Sr	mg/l	38,9	47,6	41	36	13	60
U	mg/l						
Th	mg/l						
Zn	mg/l						
Σ Kationen	mmol(eq)/l	3631,0	4213,9	3088,6	2918,9	3514,7	3753,2
Σ Anionen	mmol(eq)/l	3626,3	4208,3	3088,8	2915,5	3510,2	4025,4
IBF	%	0,1	0,1	-0,003	0,1	0,1	-3,5
Mg/Ca		0,4	0,4	0,3	1	19,7	0,8
Na/Cl		1	1	1	1	1	0,9
Na/K		221	250	188	253	14330	125
Cl/Br		1256	1214	1242	1261	1295	986
GW-Typus		Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.12: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM R7 (2002-2010).

Probe		R7-2002-830m	R7-2003-830m	R7-2004-830m	R7-2005-830m	R7-2006-830m	R7-2007a-830m	R7-2007b-830m	R7-2010-830m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	AUA	K-UTEC	AUA	K-UTEC	K-UTEC
Proben-Nr.		02-1550/07	03-1536/07	04-1590/07	10248/1.1-05	04-1590/07	12489/5.1-07	07-1522/01	10-0773/02
Probennahmedatum		07.10.2002	28.08.2003	13.09.2004	20.10.2005	26.09.2006	13.09.2007	13.09.2007	09.06.2010
T	°C		17,3		14,9	15,9	16,6		19,1
O₂	mg/l							11,67	11,25
pH		8,6	8,66	8,58	8,62	8,34	8,8		8,7
pH (lab)			8,06	7,84	8,5	8,5	8,5	8,56	8,69
Eh	mV	75	-26	91					169
Eh (lab)	mV	234	139	356	270	597	267	384	314
LF	µS/cm			241900	121400		192300		212000
LF (lab)	µS/cm	213000	180600	222000	200000	219000	221000	251000	244000
LF (calc)	µS/cm	656168	644531	649239	533536	735285	671105	660948	692645
Dichte	g/cm ³		1,203		1,200	1,202	1,204		1,203
Dichte (lab)	g/cm ³	1,200	1,199	1,200	1,199	1,207	1,207	1,200	1,200
TDS (lab)	mg/l								343720
TDS (calc)	mg/l	306423	303576	303490	250562	344837	313971	308483	323267
DOC	mg/l								152
Hauptinhaltsstoffe									
Na	mg/l	106434	106775	106332	93000	100000	100000	108351	113000
K	mg/l	1174	431	525	1700	1300	1400	127	1540
Ca	mg/l	9619	5619	8818	8000	8400	8800	9218	9700
Mg	mg/l	1581	3828	1763	1600	1600	1600	1556	1310
Cl	mg/l	185938	185466	184358	143000	230000	200000	187621	196000
HCO₃	mg/l	7	3	11,6	1222	117	n.n.	n.n.	
SO₄	mg/l	601	395	527	1000	1600	840	617	587
Begleitstoffe									
CO₂	mg/l	n.n.,	<0,1				n.n.	n.n.	
CO₃	mg/l	0,10	0,10	<0,1	12,0	2,2	18,0	n.n.	
Fe(II)	mg/l	0,60	1,84	1,17		1	1	0,10	<0,032
Fe(III)	mg/l	2,65	1,30	1,16		0,17	0,94	n.n.	0,66
Fe_{gesamt}	mg/l				0,38	2	2		
Mn	mg/l	0,20	<0,002	0,21	0,58	0,35	0,33	n.n.	<1
NO₂	mg/l				0,04	<0,01	n.n.	0,02	<0,22
NO₃	mg/l	0,42	<0,1	0,39	2,0	130	2,2	0,95	0,29
NH₄	mg/l				49	51	n.n.	41,54	36
PO₄	mg/l								<0,033
Spurenstoffe									
Al	mg/l				0,38	<0,01	n.n.	n.n.	<0,049
As	mg/l								0,002
B	mg/l		9,10	3,33	10	11	8,20		14,30
Br	mg/l	846	846	986	750	1400	990	866	813
Cd	mg/l								<0,00062
Co	mg/l								<0,01
Cr	mg/l								<0,001
Cu	mg/l							n.n.	<0,01
F	mg/l							n.n.	<0,07
I	mg/l								21,20
Li	mg/l	27,20	16,40	8,00	7,90	7,70		0,40	12,10
Ni	mg/l							n.n.	<0,001
Pb	mg/l							0,01	<0,0077
Rb	mg/l	0,001	0,0012	0,001	1,200	1,10	1,20	n.n.	1,70
Si	mg/l							1,69	<0,01
Sr	mg/l	181,1	174,0	143	210	200	230	71	220
U	mg/l							n.n.	<0,0002
Th	mg/l								<0,001
Zn	mg/l							0,083	0,340
Σ Kationen	mmol(eq)/l	5269,9	5250,9	5223,9	4622,5	4936,9	4956,5	5306,7	5548,6
Σ Anionen	mmol(eq)/l	5256,1	5238,4	5210,1	4073,5	6523,3	5658,9	5303,8	5539,4
IBF	%	0,1	0,1	0,1	6,3	-13,8	-6,6	0,03	0,1
Mg/Ca		0,3	1,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
Na/Cl		0,9	0,9	0,9	1	0,7	0,8	0,9	0,9
Na/K		154	421	344	93	131	121	1450	125
Cl/Br		495	494	421	430	370	455	488	543
GW-Typus		Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.13: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM R8 (2002-2010).

Probe		R8-2002-545m	R8-2003-545m	R8-2004a-545m	R8-2004b-545m	R8-2005-545m	R8-2006-545m	R8-2007a-545m	R8-2007b-545m	R8-2010-545m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	AUA	K-UTEC	AUA	K-UTEC	K-UTEC
Proben-Nr.		02-1550/06	03-1536/06	04-1590/06	04-2139/01	9955/1.1-05	04-1590/06	12489/1.1-07	07-1434/02	10-0790/01
Probennahmedatum		01.10.2002	09.02.2003	19.10.2004	19.10.2004	06.10.2005	20.09.2006	28.08.2007	28.08.2007	14.06.2010
T	°C		15,1			14,9	16,4	15,9		16
O ₂	mg/l								15,08	9,84
pH		8,6	8,47	8,31	8,31	7,73	8,13	7,4		8,4
pH (lab)			8,15	8,17	5,91	7,6	8,3	7,6	7,6	8,52
Eh	mV	131	64	146	146					397
Eh (lab)	mV	336	282	376	582	316	302	232	449	375
LF	µS/cm		111600	113200	113200	63800		9700		111800
LF (lab)	µS/cm	114200	114600	114800	105100	97700	106000	107700	118000	110000
LF (calc)	µS/cm	183941	181468	182274	753904	179252	192687	196313	188885	180174
Dichte	g/cm ³		1,061	1,061	1,061	1,062	1,063	1,062	1,061	1,061
Dichte (lab)	g/cm ³	1,061	1,063	1,062	1,315	1,048	1,060	1,066		1,058
TDS (lab)	mg/l									87066
TDS (calc)	mg/l	87490	86578	86895	456296	85251	91969	93459	90196	85871
DOC	mg/l									16,4
Hauptinhaltsstoffe										
Na	mg/l	31177	30777	30899	7974	29500	29000	32000	28631	29700
K	mg/l	205	232	278	12860	450	410	460	1640	798
Ca	mg/l	1603	1254	1325	6	1600	1400	1500	3206	1840
Mg	mg/l	486	748	683	101692	490	510	500	972	535
Cl	mg/l	48415	48118	48279	287647	48000	54700	53000	50180	47200
HCO ₃	mg/l	10	30	14,1	23	61	n.n.	n.n.	n.n.	
SO ₄	mg/l	5432	5292	5267	42520	5000	5500	5800	5243	5630
Begleitstoffe										
CO ₂	mg/l	n.n.		0,10	23	42		31	n.n.	
CO ₃	mg/l	0,10	0,10	0,10	<0,1	n.n.	4,4	n.n.	n.n.	
Fe(II)	mg/l	0,10	2,22	2,47	0,07		1	1,4	0,61	<0,032
Fe(III)	mg/l	2,27	2,38	2,96	0,03		5,3	11	1,46	<0,032
Fe _{gesamt}	mg/l					0,3	6	12		
Mn	mg/l	1,36	0,08	1,64	2,63	1,90	2,80	3,3	3,15	2,55
NO ₂	mg/l				0,05	0,01	<0,01	n.n.	n.n.	<0,22
NO ₃	mg/l	0,36	<0,1	<0,1	19,9	<0,1	0,8	0,71	n.n.	1,50
NH ₄	mg/l				13	11	9,60	8,40	10	7
PO ₄	mg/l									<0,033
Spurenstoffe										
Al	mg/l				0,0001	0,38	0,21	0,03	0,14	<0,049
As	mg/l									<0,001
B	mg/l		3,80	9,73	30	14	14	12		14,30
Br	mg/l	126	87	106	3463	89	330	120	270	109
Cd	mg/l									<0,00062
Co	mg/l									<0,01
Cr	mg/l									0,03
Cu	mg/l								0,03	0,04
F	mg/l								1,00	0,76
I	mg/l									3,70
Li	mg/l	4,40	2,50	1,60	2,80	2,10	2,00	1,90	2,30	2,10
Ni	mg/l								0,03	0,02
Pb	mg/l								0,02	0,03
Rb	mg/l	n.n.	0,0003	0,0002	n.n.	0,45	0,35	0,38	n.n.	0,70
Si	mg/l								n.n.	<0,01
Sr	mg/l	26,0	27,7	24	0	30	30	14	31	25
U	mg/l								n.n.	<0,0002
Th	mg/l									<0,001
Zn	mg/l								0,224	0,1
Σ Kationen	mmol(eq)/l	1481,4	1468,9	1473,6	9036,3	1415,6	1384,4	1520,4	1528,0	1448,7
Σ Anionen	mmol(eq)/l	1478,5	1467,5	1471,3	8996,8	1458,6	1657,8	1615,6	1524,1	1448,2
IBF	%	0,1	0	0,1	0,2	-1,5	-9	-3,04	0,1	0,02
Mg/Ca		0,5	1	0,8	27919,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5
Na/Cl		1	1	1	0,04	0,9	0,8	0,9	0,9	1
Na/K		258	225	189	1	111	120	118	30	63
Cl/Br		866	1253	1027	187	1216	374	996	419	976
GW-Typus		Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Mg-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.14: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H6 (2003-2010).

Probe		H6-2003-67m	H6-2004-30m	H6-2004-66m	H6-2004-47m	H6-2004-60m	H6-2004-20m	H6-2010-30m	H6-2010-60m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC
Proben-Nr.		03-1716/01	04-0479/02	04-0479/05	04-0479/03	04-0479/04	04-0479/01	10-0621/01	10-0621/02
Probennahmedatum		17.10.2003	03.02.2004	03.02.2004	03.02.2004	03.02.2004	03.02.2004	07.05.2010	07.05.2010
T	°C							9,4	10,1
O ₂	mg/l							8,22	4,35
pH								7,031	7,802
pH (lab)			7,56	7,48	7,51	7,48	7,59	7,29	7,97
Eh	mV							386	296
Eh (lab)	mV	428	467	491	488	485	452	472	417
LF	µS/cm							7270	11590
LF (lab)	µS/cm	15560	11220	12290	12400	12770	11590	6960	11200
LF (calc)	µS/cm	18511	13143	15625	15459	16143	13680	8219	15018
Dichte	g/cm ³							1,003	1,006
Dichte (lab)	g/cm ³	1,007	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,003	1,005
TDS (lab)	mg/l							4288	8546
TDS (calc)	mg/l	9314	6924	8000	7851	8205	7147	4575	7668
DOC	mg/l							6,63	73,2
Hauptinhaltsstoffe									
Na	mg/l	2679	1868	1841	1856	1872	1940	1010	1450
K	mg/l	38	28	25	27	24	29	24	17
Ca	mg/l	334	232	580	553	618	265	247	780
Mg	mg/l	220	140	210	197	212	141	88	162
Cl	mg/l	4753	3276	3565	3604	3699	3391	1880	3020
HCO ₃	mg/l	412	820	348	300	274	765	620	85
SO ₄	mg/l	818	531	1403	1288	1481	588	560	2120
Begleitstoffe									
CO ₂	mg/l	32,0	27,8	13,6	11,0	10,7	24,1	40,5	1,06
CO ₃	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<10	<10
Fe(II)	mg/l	<0,01	0,06	1,82	1,36	1,62	0,09	<0,032	
Fe(III)	mg/l	<0,001	0,02	0,23	0,09	0,43	0,02	0,19	
Fe _{gesamt}	mg/l								0,18
Mn	mg/l	0,02	<0,002	0,04	0,06	0,05	0,01	<1	<1
NO ₂	mg/l		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,22	<0,22
NO ₃	mg/l	<0,1	23,69	9,66	9,89	6,40	22,39	120	10
NH ₄	mg/l		0,23	0,24	0,32	0,31	0,35	<0,06	<0,06
PO ₄	mg/l							<0,033	<0,033
Spurenstoffe									
Al	mg/l		<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	0,07	0,14
As	mg/l							<0,0075	<0,0075
B	mg/l	11,40	0,96	2,99	3,06	3,76	1,17	1,48	5,45
Br	mg/l	22	3	3	2	3	2	8	<1
Cd	mg/l							<0,00062	<0,00062
Co	mg/l							<0,01	<0,01
Cr	mg/l							0,01	0,01
Cu	mg/l							<0,01	<0,01
F	mg/l							0,25	1,01
I	mg/l							<1	1,60
Li	mg/l	0,40	<0,1	0,20	0,20	0,20	0,20	<0,1	0,26
Ni	mg/l							0,01	0,01
Pb	mg/l							0,01	0,01
Rb	mg/l	<0,1	<0,1	0,3	0,10	0,10	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/l							13,30	1,64
Sr	mg/l	26,4	1,7	9	8	10	2	3	14
U	mg/l							0,003	<0,0002
Th	mg/l							<0,001	<0,001
Zn	mg/l							0,160	0,160
Σ Kationen	mmol(eq)/l	152,2	105,1	127	125,3	130,4	110	64,1	115,8
Σ Anionen	mmol(eq)/l	157,8	117,3	135,6	133,5	139,7	120,8	76,8	130,8
IBF	%	-1,8	-5,5	-3,3	-3,2	-3,4	-4,7	-9	-6,1
Mg/Ca		1,1	1	0,6	0,6	0,6	0,9	0,6	0,3
Na/Cl		0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,7
Na/K		121	112	125	118	131	113	73	144
Cl/Br		485	2840	3091	3532	3207	3185	550	
GW-Typus		Na-Cl	Na-Cl	Na-Ca-Cl-SO ₄	Na-Ca-Cl-SO ₄	Na-Ca-Cl-SO ₄	Na-Cl	Na-Cl	Na-Ca-Cl-SO ₄

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.15: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H16 (2002-2010).

Probe		H16-2002a-33m	H16-2002b-33m	H16-2007-33m	H16-2010-33m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	AUA	K-UTEC
Proben-Nr.		02-0946/15	03-1969/06	12489/3.1-07	10-0816/02
Probennahmedatum		08.07.2002	08.07.2002	07.09.2007	22.06.2010
T	°C			11,5	12,4
O ₂	mg/l				2,24
pH				8,6	8,575
pH (lab)			8,38	8,5	8,56
Eh	mV				130
Eh (lab)	mV	367	392	304	383
LF	µS/cm			17200	22400
LF (lab)	µS/cm	13990	21300	19450	21800
LF (calc)	µS/cm	18186	30991	31790	32477
Dichte	g/cm ³			1,013	1,014
Dichte (lab)	g/cm ³	1,007	1,014	1,016	1,027
TDS (lab)	mg/l				27462
TDS (calc)	mg/l	9496	16426	16884	17120
DOC	mg/l				17,2
Hauptinhaltsstoffe					
Na	mg/l	2165	5081	5100	5480
K	mg/l	11	16	46	54
Ca	mg/l	632	460	510	488
Mg	mg/l	334	167	180	170
Cl	mg/l	3457	4213	4500	4390
HCO ₃	mg/l	65	97	224	
SO ₄	mg/l	2800	6288	6200	6400
Begleitstoffe					
CO ₂	mg/l	0,40	0,40	n.n.	
CO ₃	mg/l	<0,1	0,20	36,00	
Fe(II)	mg/l	1,21	1,26	7,40	0,09
Fe(III)	mg/l	4,71	2,64	1,20	0,17
Fe _{gesamt}	mg/l			8,60	
Mn	mg/l	0,35	0,13	0,26	<1
NO ₂	mg/l			n.n.	7,71
NO ₃	mg/l		1,01	0,49	10
NH ₄	mg/l			1,50	<0,06
PO ₄	mg/l				0,04
Spurenstoffe					
Al	mg/l			1,3	<0,049
As	mg/l				0,01
B	mg/l		76	89	92,7
Br	mg/l	7	<1	3	4
Cd	mg/l				<0,00062
Co	mg/l				<0,01
Cr	mg/l				0,02
Cu	mg/l				0,03
F	mg/l				2,54
I	mg/l				<1
Li	mg/l	6,80	14,40	9,80	9,67
Ni	mg/l				0,01
Pb	mg/l				<0,0077
Rb	mg/l	0,037	0,40	0,012	0,2
Si	mg/l				2,43
Sr	mg/l	12,1	8,2	10	8
U	mg/l				0,001
Th	mg/l				<0,001
Zn	mg/l				0,027
Σ Kationen	mmol(eq)/l	153,5	258,2	263,6	278,1
Σ Anionen	mmol(eq)/l	156,8	251,2	259,5	257,2
IBF	%	-1,1	1,4	0,8	3,9
Mg/Ca		0,9	0,6	0,6	0,6
Na/Cl		1	1,9	1,7	1,9
Na/K		336	532	188	171
Cl/Br		1163		3170	2301
GW-Typus		Na-Ca-Cl-SO ₄	Na-SO ₄ -Cl	Na-SO ₄ -Cl	Na-SO ₄ -Cl

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.16: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM P13 (2002-2010).

Probe		P13-2002-90m	P13-2003-90m	P13-2004-90m	P13-2005-214m	P13-2006-214m	P13-2007-124m	P13-2010-90m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	AUA	AUA	AUA	K-UTEC
Proben-Nr.		02-1550/04	03-1536/04	04-1590/04	8640/1.1-05 L16	10788/2.1-06	12489/2.1-07 L4	10-0598/02
Probennahmedatum		30.09.2002	20.08.2003	09.09.2004	04.08.2005	18.09.2006	04.09.2007	28.04.2010
T	°C			20,1	12	12,5	22,6	11,5
O₂	mg/l							11,13
pH		7,55	7,3	7,4	7,28	7,35		7,2
pH (lab)			7,56	7,68	7,5	7,2	7,3	7,5
Eh	mV	161	190	157				253
Eh (lab)	mV	357	337	404	370	348	372	416
LF	µS/cm							88200
LF (lab)	µS/cm	80300	80700	81700	72000	74000	74200	85500
LF (calc)	µS/cm	120703	120526	119837	118395	133430	125019	133878
Dichte	g/cm ³				1,044	1,044	1,048	1,045
Dichte (lab)	g/cm ³	1,040	1,042	1,044	1,040	1,037	1,048	1,046
TDS (lab)	mg/l							67472
TDS (calc)	mg/l	58015	58068	57702	57084	64429	60139	64136
DOC	mg/l							10,7
Hauptinhaltsstoffe								
Na	mg/l	19510	19788	19792	17000	20000	18000	22200
K	mg/l	23	36	38	190	140	150	178
Ca	mg/l	1623	1227	1309	1400	1400	1400	1510
Mg	mg/l	608	715	530	610	590	540	403
Cl	mg/l	30967	31199	30650	32500	35900	34500	34300
HCO₃	mg/l	161	214	166	195	195	159	234
SO₄	mg/l	5053	4831	5061	5100	6000	5300	5220
Begleitstoffe								
CO₂	mg/l	4,1	6,0	3,5	36,0	35,2	40,0	7,3
CO₃	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	n.n.	n.n.	n.n.	<10
Fe(II)	mg/l	0,90	3,52	4,99		0,93	5,00	0,27
Fe(III)	mg/l	3,54	3,24	1,98		0,56	0,51	1,21
Fe_{gesamt}	mg/l				13,00	1,50	5,50	
Mn	mg/l	0,10	0,05	0,23	0,39	0,21	0,18	<1
NO₂	mg/l				0,01	0,01	n.n.	<0,22
NO₃	mg/l	0,27	0,23	<0,1	0,31	0,50	0,44	0,49
NH₄	mg/l				4,40	7,10	1,50	3
PO₄	mg/l							<0,033
Spurenstoffe								
Al	mg/l				11	0,54	2,20	0,20
As	mg/l							0,01
B	mg/l		14,60	11,40	22,00	19,00	16,00	17,50
Br	mg/l	27	7	10	14	140	30	28
Cd	mg/l							<0,00062
Co	mg/l							<0,01
Cr	mg/l							<0,001
Cu	mg/l							<0,01
F	mg/l							0,57
I	mg/l							1,10
Li	mg/l	11,20	6,10	4,90	5,40	5,30	6,20	5,52
Ni	mg/l							0,01
Pb	mg/l							<0,0077
Rb	mg/l	<0,1	0,20	100	0,07	0,06	0,06	0,40
Si	mg/l							6,61
Sr	mg/l	26,7	23,6	22	31	28	28	26
U	mg/l							0,0002
Th	mg/l							<0,001
Zn	mg/l							0,220
Σ Kationen	mmol(eq)/l	980,3	981,8	971	864,6	992,4	901,4	1078,9
Σ Anionen	mmol(eq)/l	981	983,8	972,3	1025,8	1140,4	1085,8	1079,7
IBF	%	-0,04	-0,1	-0,1	-8,5	-6,9	-9,3	-0,04
Mg/Ca		0,6	1	0,7	0,7	0,7	0,6	0,4
Na/Cl		1	1	1	0,8	0,9	0,8	1
Na/K		1429	937	887	152	243	204	212
Cl/Br		2624	10544	6916	5233	578	2592	2801
GW-Typus		Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.17: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H2 (2004).

Probe		H2-2004-58m	H2-2004-35m
Labor		k.A.	K-UTEC
Proben-Nr.		k.A.	04-2139/01
Probennahmedatum		29.11.2004	29.11.2004
T	°C		
O ₂	mg/l		
pH			
pH (lab)			7,29
Eh	mV		
Eh (lab)	mV		
LF	µS/cm		
LF (lab)	µS/cm		
LF (calc)	µS/cm	20001	3386
Dichte	g/cm ³		
Dichte (lab)	g/cm ³		
TDS (lab)	mg/l		
TDS (calc)	mg/l	10303	1969
DOC	mg/l		
Hauptinhaltsstoffe			
Na	mg/l	2776	27
K	mg/l	18,8	3,1
Ca	mg/l	586	479
Mg	mg/l	178	57
Cl	mg/l	4312	44
HCO ₃	mg/l	7	127
SO ₄	mg/l	2060	1220
Begleitstoffe			
CO ₂	mg/l		
CO ₃	mg/l		
Fe(II)	mg/l	2,51	
Fe(III)	mg/l	1,12	
Fe _{gesamt}	mg/l		
Mn	mg/l		
NO ₂	mg/l		
NO ₃	mg/l	0,62	
NH ₄	mg/l		
PO ₄	mg/l		
Spurenstoffe			
Al	mg/l		
As	mg/l		
B	mg/l	313,5	
Br	mg/l	33,56	
Cd	mg/l		
Co	mg/l		
Cr	mg/l		
Cu	mg/l		
F	mg/l		
I	mg/l		
Li	mg/l	2,29	
Ni	mg/l		
Pb	mg/l		
Rb	mg/l		
Si	mg/l		
Sr	mg/l	11	11,4
U	mg/l		
Th	mg/l		
Zn	mg/l		
Σ Kationen	mmol(eq)/l	165,2	29,8
Σ Anionen	mmol(eq)/l	164,6	28,7
IBF	%	0,2	1,9
Mg/Ca		0,5	0,2
Na/Cl		1	0,9
Na/K		251	15
Cl/Br		290	
GW-Typus		Na-Cl-SO ₄	Ca-SO ₄

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.18: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM P17 (2003-2010).

Probe		P17-2003-?	P17-2003-?	P17-2003-56m	P17-2007-55m	P17-2010-55m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	AUA	K-UTEC
Proben-Nr.		03-0661/06	03-1537/06	03-2112/08	12489/7.1-07 L18	10-0790/04
Probennahmedatum		07.04.2003	27.06.2003	04.11.2003	24.09.2007	17.06.2010
T	°C	24,1	22,2	21,9	13,4	13,8
O ₂	mg/l					11,54
pH					9,03	7,5
pH (lab)			7,27	7,13	7,2	7,64
Eh	mV					224
Eh (lab)	mV	482	464	449	184	407
LF	µS/cm				73100	88100
LF (lab)	µS/cm	773	1020	89400	82900	87000
LF (calc)	µS/cm	518	816	134787	141674	134847
Dichte	g/cm ³				1,049	1,048
Dichte (lab)	g/cm ³	1,001	1,001	1,047	1,047	1,055
TDS (lab)	mg/l					66772
TDS (calc)	mg/l	405	737	64626	67897	64912
DOC	mg/l					13,6
Hauptinhaltsstoffe						
Na	mg/l	19	19	22513	24000	22000
K	mg/l	24	24	62	91	67
Ca	mg/l	49	78	1278	1400	1520
Mg	mg/l	<1	31	572	610	778
Cl	mg/l	27	31	34744	36300	34800
HCO ₃	mg/l	231	484	74	79	114
SO ₄	mg/l	54	69	5324	5300	5530
Begleitstoffe						
CO ₂	mg/l		39,1	5,4	22	2,6
CO ₃	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	n.n.	<10
Fe(II)	mg/l	0,50	<0,01	1,39	1,80	<0,032
Fe(III)	mg/l	<0,01	0,07	0,71	1,40	<0,032
Fe _{gesamt}	mg/l				3,20	
Mn	mg/l	<0,002	0,02	0,24	0,29	<1
NO ₂	mg/l				0,06	<0,22
NO ₃	mg/l			<0,1	0,62	<0,21
NH ₄	mg/l				5,40	6,90
PO ₄	mg/l					0,08
Spurenstoffe						
Al	mg/l				4	<0,049
As	mg/l					0,002
B	mg/l	<0,01	0,12	7,12	7,70	7,40
Br	mg/l	<1	<1	<1	49	34
Cd	mg/l					<0,00062
Co	mg/l					<0,01
Cr	mg/l					0,01
Cu	mg/l					0,04
F	mg/l					<0,07
I	mg/l					2,60
Li	mg/l	<0,1	<0,1	23,60	21	20,7
Ni	mg/l					0,010
Pb	mg/l					<0,0077
Rb	mg/l	<0,1	0,30	0,2	0,03	0,30
Si	mg/l					4,27
Sr	mg/l	0,7	0,8	25,3	25	25,9
U	mg/l					0,002
Th	mg/l					<0,001
Zn	mg/l					0,450
Σ Kationen	mmol(eq)/l	3,9	7,9	1091,8	1166,7	1098,9
Σ Anionen	mmol(eq)/l	5,7	10,2	1091,7	1135,2	1098,3
IBF	%	-18,43	-12,9	0,001	1,4	0,03
Mg/Ca			0,7	0,7	0,7	0,8
Na/Cl		1,1	1,0	1	1	1
Na/K		1	1	615	448	555
Cl/Br					1670	2307
GW-Typus		Ca-Na-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.19: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM P9 (2007 und 2010).

Probe		P9-2007-11m	P9-2010-11m
Labor		AUA	K-UTEC
Proben-Nr.		12489/2.1-07 L3	10-0598/03
Probennahmedatum		04.09.2007	28.04.2010
T	°C	12,1	23,2
O ₂	mg/l		4,9
pH		6,8	7,2
pH (lab)			7,41
Eh	mV		403
Eh (lab)	mV	437	460
LF	µS/cm	1330	1785
LF (lab)	µS/cm	1750	1920
LF (calc)	µS/cm	1309	2315
Dichte	g/cm ³	1,001	0,999
Dichte (lab)	g/cm ³	1,002	
TDS (lab)	mg/l		
TDS (calc)	mg/l	920	1586
DOC	mg/l		4,91
Hauptinhaltsstoffe			
Na	mg/l	53	33
K	mg/l	8	7
Ca	mg/l	270	247
Mg	mg/l	50	34
Cl	mg/l	24	229
HCO ₃	mg/l	389	477
SO ₄	mg/l	87	486
Begleitstoffe			
CO ₂	mg/l	18,0	25,0
CO ₃	mg/l	n.n.	<10
Fe(II)	mg/l	4,00	<0,032
Fe(III)	mg/l	3,60	0,22
Fe _{gesamt}	mg/l	7,60	
Mn	mg/l	0,10	<1
NO ₂	mg/l	n.n.	<0,22
NO ₃	mg/l	24	45
NH ₄	mg/l	n.n.	0,21
PO ₄	mg/l		0,08
Spurenstoffe			
Al	mg/l	2,50	<0,049
As	mg/l		<0,0075
B	mg/l	0,53	0,40
Br	mg/l	0,14	7
Cd	mg/l		<0,00062
Co	mg/l		<0,01
Cr	mg/l		0,004
Cu	mg/l		<0,01
F	mg/l		0,32
I	mg/l		<1
Li	mg/l	0,07	<0,1
Ni	mg/l		0,005
Pb	mg/l		<0,0077
Rb	mg/l	0,008	0,1
Si	mg/l		15,9
Sr	mg/l	3,6	3,3
U	mg/l		0,0031
Th	mg/l		<0,001
Zn	mg/l		0,26
Σ Kationen	mmol(eq)/l	20,2	16,7
Σ Anionen	mmol(eq)/l	9,3	25,1
IBF	%	37,26	-20,1
Mg/Ca		0,3	0,2
Na/Cl		3,4	0,2
Na/K		11	8
Cl/Br		386	74
GW-Typus		Ca-Mg-HCO ₃	Ca-SO ₄ -HCO ₃ -Cl

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.20: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM P15 (2003-2010).

Probe		P15-2003-?	P15-2003-44m	P15-2007-120m	P15-2007-40m	P15-2010-40m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	AUA	K-UTEC	K-UTEC
Proben-Nr.		k.A.	k.A.	1249/6.1-07 L 17	07-1538/02	10-0816/03
Probennahmedatum		30.09.2003	30.09.2003	19.09.2007	19.09.2007	23.06.2010
T	°C	23,3	23,3	10,3		15,5
O ₂	mg/l				8,1	3,77
pH				7,37		7,664
pH (lab)			7,67	7,4	7,64	7,39
Eh	mV					370
Eh (lab)	mV	432	431	170	465	440
LF	µS/cm			1010		1591
LF (lab)	µS/cm	1505	3830	1260	2600	1570
LF (calc)	µS/cm	1449	3778	1327	1636	1683
Dichte	g/cm ³			1,000		1,003
Dichte (lab)	g/cm ³	1,000	1,002	0,998	1,001	1,001
TDS (lab)	mg/l					760
TDS (calc)	mg/l	970	2247	920	1104	1164
DOC	mg/l					5,03
Hauptinhaltsstoffe						
Na	mg/l	155	289	100	151	177
K	mg/l	30	49	34	27	28
Ca	mg/l	39	157	62	68	61
Mg	mg/l	58	179	71	92	51
Cl	mg/l	239	945	240	315	298
HCO ₃	mg/l	273	436	256	249	440
SO ₄	mg/l	151	173	110	132	80
Begleitstoffe						
CO ₂	mg/l		12,4		n.n.	25,5
CO ₃	mg/l	<0,1	<0,1		n.n.	<10
Fe(II)	mg/l	0,75	1,38	0,59	0,01	<0,032
Fe(III)	mg/l	2,42	6,95	0,61	n.n.	<0,032
Fe _{gesamt}	mg/l		1	1,2		
Mn	mg/l	<0,002	1,69	0,09	0,27	<1
NO ₂	mg/l			n.n.	0,01	<0,22
NO ₃	mg/l	20,41	9,17	44	36,16	17
NH ₄	mg/l			n.n.	n.n.	<0,06
PO ₄	mg/l					0,20
Spurenstoffe						
Al	mg/l			0,3	n.n.	<0,049
As	mg/l					0,01
B	mg/l	0,51	0,57	0,30	3,30	<0,01
Br	mg/l	<1	<1	0,33		<1
Cd	mg/l					<0,00062
Co	mg/l					<0,01
Cr	mg/l					0,01
Cu	mg/l				n.n.	0,04
F	mg/l				n.n.	<0,07
I	mg/l					<1
Li	mg/l	<0,1	<0,1	0,03	14,80	<0,1
Ni	mg/l				0,05	0,004
Pb	mg/l					<0,0077
Rb	mg/l	0,2	<0,1	0,0011	n.n.	<0,1
Si	mg/l				15,30	11,85
Sr	mg/l	0,3		0,28	0,30	0,34
U	mg/l				n.n.	<0,0002
Th	mg/l					<0,001
Zn	mg/l				0,05	0,01
Σ Kationen	mmol(eq)/l	14,3	36,5	14,2	18,2	15,6
Σ Anionen	mmol(eq)/l	14,7	37,5	14	16,3	17,6
IBF	%	-1,46	-1,4	0,8	5,6	-5,9
Mg/Ca		2,4	1,9	1,9	2,2	1,4
Na/Cl		1	0,5	0,6	0,7	0,9
Na/K		9	10	5	10	11
Cl/Br				1639		
GW-Typus		Na-Mg-Cl-HCO ₃ -SO ₄	Mg-Na-Ca-Cl	Mg-Na-Ca-Cl-HCO ₃	Mg-Na-Cl-HCO ₃	Na-Mg-Cl-HCO ₃

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.21: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H7 (2003 und 2010).

Probe		H7-2003-29m	H7-2010-29m
Labor		K-UTEC	K-UTEC
Proben-Nr.		03-2112/07	10-1306/01
Probennahmedatum		04.11.2003	01.09.2010
T	°C		12,6
O ₂	mg/l		1,97
pH			7,6
pH (lab)			7,3
Eh	mV		173
Eh (lab)	mV	434	76
LF	µS/cm	2060	2190
LF (lab)	µS/cm		2070
LF (calc)	µS/cm	2363	2334
Dichte	g/cm ³		1,001
Dichte (lab)	g/cm ³	1,002	1,000
TDS (lab)	mg/l		1560
TDS (calc)	mg/l	1518	1828
DOC	mg/l		6,82
Hauptinhaltsstoffe			
Na	mg/l	310	261
K	mg/l	6	9
Ca	mg/l	96	86
Mg	mg/l	19	8
Cl	mg/l	313	332
HCO ₃	mg/l	511	688
SO ₄	mg/l	255	212
Begleitstoffe			
CO ₂	mg/l	14,90	48,60
CO ₃	mg/l	<0,1	<10
Fe(II)	mg/l	0,94	0,29
Fe(III)	mg/l	1,57	<0,032
Fe _{gesamt}	mg/l		
Mn	mg/l	0,03	<1
NO ₂	mg/l		<0,22
NO ₃	mg/l	2,37	1,10
NH ₄	mg/l		0,79
PO ₄	mg/l		0,27
Spurenstoffe			
Al	mg/l		0,18
As	mg/l		0,001
B	mg/l	1,25	1,63
Br	mg/l	<1	5
Cd	mg/l		<0,00062
Co	mg/l		<0,01
Cr	mg/l		0,01
Cu	mg/l		<0,01
F	mg/l		208
I	mg/l		4,00
Li	mg/l	<0,1	<0,1
Ni	mg/l		0,005
Pb	mg/l		0,05
Rb	mg/l	0,1	<0,1
Si	mg/l		9,16
Sr	mg/l	1,3	1,5
U	mg/l		<0,0002
Th	mg/l		<0,001
Zn	mg/l		0,28
Σ Kationen	mmol(eq)/l	20	16,6
Σ Anionen	mmol(eq)/l	22,5	25,1
IBF	%	-5,9	-20,4
Mg/Ca		0,3	0,2
Na/Cl		1,5	1,2
Na/K		81	50
Cl/Br			150
GW-Typus		Na-Ca-Cl-HCO ₃ -SO ₄	Na-Ca-HCO ₃ -Cl

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.22: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H9 (2003-2010).

Probe		H9-2003-50m	H9-2007-50m	H9-2010-50m
Labor		K-UTEC	AUA	K-UTEC
Proben-Nr.		03-1969/04	12489/4.1-07 L13	10-0816/01
Probennahmedatum		22.09.2003	11.09.2007	21.06.2010
T	°C		10,9	12,5
O₂	mg/l			10,44
pH			7,33	7,774
pH (lab)			7,6	7,6
Eh	mV			224
Eh (lab)	mV	422	329	417
LF	µS/cm		6200	8460
LF (lab)	µS/cm	8370	6960	8030
LF (calc)	µS/cm	9429	8866	10152
Dichte	g/cm ³		1,003	1,004
Dichte (lab)	g/cm ³	1,003	1,003	1,001
TDS (lab)	mg/l			5036
TDS (calc)	mg/l	4749	4538	5285
DOC	mg/l			6,09
Hauptinhaltsstoffe				
Na	mg/l	1587	1400	1740
K	mg/l	6	16	30
Ca	mg/l	78	120	130
Mg	mg/l	39	39	43
Cl	mg/l	2344	2200	2350
HCO₃	mg/l	352	451	654
SO₄	mg/l	332	300	322
Begleitstoffe				
CO₂	mg/l	5,30	18,0	21,10
CO₃	mg/l	<0,1	n.n.	<10
Fe(II)	mg/l	1,69	2,60	<0,032
Fe(III)	mg/l	1,02	0,08	<0,032
Fe_{gesamt}	mg/l		2,70	
Mn	mg/l	<0,002	0,08	<1
NO₂	mg/l		n.n.	<0,22
NO₃	mg/l	2,98	n.n.	<0,21
NH₄	mg/l		n.n.	1,40
PO₄	mg/l			0,09
Spurenstoffe				
Al	mg/l		0,48	<0,0049
As	mg/l			0,02
B	mg/l	3,04	3,10	4,44
Br	mg/l	<1	3	5
Cd	mg/l			<0,00062
Co	mg/l			<0,01
Cr	mg/l			0,01
Cu	mg/l			0,02
F	mg/l			<0,07
I	mg/l			<1
Li	mg/l	<0,1	0,06	0,19
Ni	mg/l			0,01
Pb	mg/l			<0,0077
Rb	mg/l	0,3	0,005	<0,1
Si	mg/l			3,85
Sr	mg/l	2,0	2,4	2
U	mg/l			<0,0002
Th	mg/l			<0,001
Zn	mg/l			0,015
Σ Kationen	mmol(eq)/l	76,3	70,6	86,5
Σ Anionen	mmol(eq)/l	78,8	75,7	83,7
IBF	%	-1,6	-3,5	1,7
Mg/Ca		0,8	0,5	0,5
Na/Cl		1	1	1,1
Na/K		448	149	100
Cl/Br			1600	1127
GW-Typus		Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.23: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H5 (2002-2010).

Probe		H5-2002-115m	H5-2003-115m	H5-2004-115m	H5-2006-115m	H5-2007a-115m	H5-2007b-115m	H5-2010-20m	H5-2010-115m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	AUA	AUA	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC
Proben-Nr.		02-1550/05	03-1536/05	04-1590/05	10788/3.1-06	12489/6.1-07L16	07-1538/01	10-0621/03	10-0621/04
Probennahmedatum		30.09.2002	20.08.2003	30.08.2004	19.09.2006	17.09.2007	21.09.2007	04.05.2010	04.05.2010
T	°C				12,5	13		8,9	9,6
O ₂	mg/l						11,23	6,03	6,58
pH		7,18	7,15	7,08	7,26	7,23		6,944	7,066
pH (lab)			7,23	7,21	7,1	6,9	7,02	7,24	7,19
Eh	mV	178	-106	167				480	341
Eh (lab)	mV	380	139	423	320	202	482	473	418
LF	µS/cm					151800		2760	213000
LF (lab)	µS/cm	207000	200000	208000	186000	187000	206000	2620	207000
LF (calc)	µS/cm	475567	474022	474858	510748	466317	487951	4238	504117
Dichte	g/cm ³				1,160	1,166		1,002	1,167
Dichte (lab)	g/cm ³	1,153	1,163	1,162	1,158	1,163	1,160	1,002	1,161
TDS (lab)	mg/l							2560	253560
TDS (calc)	mg/l	232982	232583	233308	250819	228820	238889	2793	246957
DOC	mg/l							6,03	109
Hauptinhaltsstoffe									
Na	mg/l	79670	79675	79525	75000	77000	83110	10	85400
K	mg/l	914	720	787	1700	1700	399	2	2190
Ca	mg/l	561	359	369	430	450	148	612	409
Mg	mg/l	5496	5620	5990	4400	4400	4990	35	4370
Cl	mg/l	123688	123279	123364	140000	120000	124972	32	128000
HCO ₃	mg/l	189	244	152	415	421	233	486	741
SO ₄	mg/l	22074	22154	22660	28200	24300	24912	1430	25300
Begleitstoffe									
CO ₂	mg/l	11,4	13,4	8,8	580	607	n.n.	35,1	42,1
CO ₃	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1		n.n.	n.n.	<10	<10
Fe(II)	mg/l	0,75	3,06	1,21	1,10	2,80	0,73	<0,032	0,74
Fe(III)	mg/l	10,82	5,18	9,16	5,40	5,50	0,01	0,23	3,51
Fe _{gesamt}	mg/l				6,50	8,30			
Mn	mg/l	0,53	0,39	0,55	0,59	0,54	0,03	<1	<1
NO ₂	mg/l				<0,01	n.n.	0,03	<0,22	<0,22
NO ₃	mg/l	0,29	<0,1	0,59	0,60	1,60	0,21	170	63
NH ₄	mg/l				6,10	n.n.	6,14	0,07	4,30
PO ₄	mg/l							<0,033	0,11
Spurenstoffe									
Al	mg/l				0,64	0,41	n.n.	<0,049	<0,049
As	mg/l						0,001	<0,0075	0,01
B	mg/l		258	250	330	310		0,36	295
Br	mg/l	100	93	93	210	110	107	<1	80
Cd	mg/l							<0,00062	<0,00062
Co	mg/l							<0,01	<0,01
Cr	mg/l							0,002	<0,001
Cu	mg/l						n.n.	<0,01	<0,01
F	mg/l						0,90	0,14	0,66
I	mg/l							<1	2,60
Li	mg/l	262	156	93,4	100	100	0,20	<0,1	80
Ni	mg/l						0,01	0,003	0,003
Pb	mg/l						0,01	<0,0077	<0,0077
Rb	mg/l	0,6	0,50	0,6	0,560	0,63	n.n.	<0,1	1,20
Si	mg/l						1,07	8,73	0,77
Sr	mg/l	13,3	13,9	11	16	16	6	7	13
U	mg/l						n.n.		
Th	mg/l								
Zn	mg/l						1,60	0,04	1,43
Σ Kationen	mmol(eq)/l	3968,9	3964,3	3990,3	3689,6	3777,3	4043,4	33,9	4150,9
Σ Anionen	mmol(eq)/l	3950,2	3941,3	3952,7	4541,4	3896,4	4046,2	41,4	4149
IBF	%	0,2	0,3	0,5	-10,3	-1,6	-0,03	-10	0,02
Mg/Ca		16,1	25,8	26,7	16,9	16,1	55,5	0,1	17,6
Na/Cl		1	1	1	0,8	1	1	0,5	1
Na/K		148	188	172	75	77	354	11	66
Cl/Br		2788	2982	2984	1503	2459	2633		3593
GW-Typus		Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Ca-SO ₄	Na-Cl

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.24: Hydrochemische Analysendatensätze der GWM H17 (2002-2010).

Probe		H17-2002-228m	H17-2003-228m	H17-2004-228m	H17-2006-228m	H17-2007-228m	H17-2010-228m
Labor		K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	AUA	AUA	K-UTEC
Proben-Nr.		02-1550/03	03-1536/03	04-1590/03	10788/1.1-06	12489/5.1-07 L14	10-0729/01
Probennahmedatum		27.09.2002	25.08.2003	01.09.2004	13.09.2006	12.09.2007	01.06.2010
T	°C				14,8	15,6	14,6
O ₂	mg/l						11,8
pH		9,44	9,43	9,16	9,54	9,38	9,7
pH (lab)			8,28	9,1	9,2	8,4	9,73
Eh	mV	73	89	93		398	-25
Eh (lab)	mV	93	-28	353	279	398	336
LF	µS/cm					6300	7210
LF (lab)	µS/cm	7950	8280	8110	6400	6380	9570
LF (calc)	µS/cm	10990	11289	10922	11212	9900	12749
Dichte	g/cm ³				1,004	1,002	1,005
Dichte (lab)	g/cm ³	1,005	1,005	1,005	1,006	1,003	1,005
TDS (lab)	mg/l						6842
TDS (calc)	mg/l	5598	5921	5644	5884	5194	6592
DOC	mg/l						7,16
Hauptinhaltsstoffe							
Na	mg/l	981	993	924	830	770	1260
K	mg/l	84	101	102	140	150	157
Ca	mg/l	801	659	728	720	680	623
Mg	mg/l	122	208	141	150	140	212
Cl	mg/l	1801	1876	1788	1800	1500	2350
HCO ₃	mg/l	3	9	10	18	31	
SO ₄	mg/l	1786	2058	1934	2200	1900	1970
Begleitstoffe							
CO ₂	mg/l	<0,1	<0,1	1	n.n.	n.n.	
CO ₃	mg/l	0,10	0,20	31,40	4,40	6,0	
Fe(II)	mg/l	1,50	4,58	6,44	1,70	4,70	0,28
Fe(III)	mg/l	0,94	0,52	0,27		0,30	<0,032
Fe _{gesamt}	mg/l				1,70	5,00	
Mn	mg/l	0,10	0,22	0,11	0,17	0,26	<1
NO ₂	mg/l				<0,01	n.n.	<0,22
NO ₃	mg/l	0,19	<0,1	<0,1	0,80	0,75	<0,21
NH ₄	mg/l				0,67	n.n.	0,43
PO ₄	mg/l						<0,033
Spurenstoffe							
Al	mg/l				0,26	0,19	<0,049
As	mg/l						<0,001
B	mg/l		<0,1	<0,01	3,10	2,40	2,86
Br	mg/l	4	<1	<1	7	2	4
Cd	mg/l						<0,00062
Co	mg/l						<0,01
Cr	mg/l						0,01
Cu	mg/l						<0,01
F	mg/l						<0,07
I	mg/l						<1
Li	mg/l	0,20	0,50	0,40	0,42		0,42
Ni	mg/l						0,01
Pb	mg/l						<0,0077
Rb	mg/l	0,3	0,50	0,6	0,51	0,59	0,90
Si	mg/l						<0,01
Sr	mg/l	12,8	11,4	10	11	12	10
U	mg/l						<0,0002
Th	mg/l						<0,001
Zn	mg/l						0,6
Σ Kationen	mmol(eq)/l	94,9	95,9	91	88,1	83	107,4
Σ Anionen	mmol(eq)/l	88	95,9	90,8	96,8	82,3	107,2
IBF	%	3,8	0,04	0,1	-4,7	0,4	0,1
Mg/Ca		0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,6
Na/Cl		0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Na/K		20	17	15	10	9	14
Cl/Br		1128			606	1989	1232
GW-Typus		Na-Ca-Cl-SO ₄	Na-Ca-Cl-SO ₄	Na-Ca-Cl-SO ₄	Na-Ca-Cl-SO ₄	Ca-Na-Cl-SO ₄	Na-Ca-Cl-SO ₄

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.25: Hydrochemische Analysendatensätze der Quellen M10 (2010) und M17 (2010).

Probe		M10-2010	M17-2010
Labor		K-UTEC	K-UTEC
Proben-Nr.		10-1160/01	10-1306/05
Datum		19.08.2010	17.09.2010
T	°C	11,5	12,3
O ₂	mg/l	5	6,44
pH		6,99	7,2
pH (lab)		7	7,24
Eh	mV	421	505
Eh (lab)	mV	513	62
LF	µS/cm	2680	2440
LF (lab)	µS/cm	2580	2380
LF (calc)	µS/cm	4115	2807
Dichte	g/cm ³	1,002	1,001
Dichte (lab)	g/cm ³	1,001	1,001
TDS (lab)	mg/l	2558	1636
TDS (calc)	mg/l	2656	1730
DOC	mg/l		
Hauptinhaltsstoffe			
Na	mg/l	17	193
K	mg/l	3	6
Ca	mg/l	530	212
Mg	mg/l	23	11
Cl	mg/l	24	377
HCO ₃	mg/l	577	447
SO ₄	mg/l	1450	455
Begleitstoffe			
CO ₂	mg/l	73,00	34,80
CO ₃	mg/l	<10	<10
Fe(II)	mg/l	<0,032	<0,032
Fe(III)	mg/l	<0,032	0,12
Fe _{gesamt}	mg/l		
Mn	mg/l	<1	<1
NO ₂	mg/l	<0,22	<0,22
NO ₃	mg/l	9,50	8,20
NH ₄	mg/l	0,15	0,02
PO ₄	mg/l	<0,033	0,04
Spurenstoffe			
Al	mg/l	<0,049	<0,049
As	mg/l	<0,001	0,01
B	mg/l	0,44	0,58
Br	mg/l	<1	3
Cd	mg/l	0,001	<0,00062
Co	mg/l	<0,01	<0,01
Cr	mg/l	0,01	0,00
Cu	mg/l	<0,01	<0,01
F	mg/l	<0,07	<0,07
I	mg/l	7,40	2,00
Li	mg/l	0,16	0,11
Ni	mg/l	0,02	0,01
Pb	mg/l	<0,0077	<0,0077
Rb	mg/l	<0,1	<0,1
Si	mg/l	6,89	10,55
Sr	mg/l	8,6	4,0
U	mg/l	0,002	0,003
Th	mg/l	<0,001	<0,001
Zn	mg/l	0,03	0,03
Σ Kationen	mmol(eq)/l	29,1	20,1
Σ Anionen	mmol(eq)/l	40,4	27,6
IBF	%	-16,3	-15,8
Mg/Ca		0,1	0,1
Na/Cl		1,1	0,8
Na/K		11	56
Cl/Br			283
GW-Typus		Ca-SO ₄ -HCO ₃	Na-Ca-Cl-SO ₄ -HCO ₃

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.26: Hydrochemische Analysendatensätze der Quellen M2 (2010), M15 (2004 und 2010), M20 (2004 und 2010) und M21 (2004 und 2010).

Probe		M2-2010	M15-2004	M15-2010	M20-2004	M20-2010	M21-2004	M21-2010
Labor		K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC
Proben-Nr.		10-1306/08	04-1173/02	10-1306/07	04-2139/07	10-1306/03	04-1173/05	10-1306/04
Datum		20.09.2010	08.06.2004	20.09.2010	18.10.2004	17.09.2010	08.06.04	17.09.10
T	°C	12	23	12,3	21,2	12,3	23	12,1
O ₂	mg/l	5,93		5,48		6,63		5,13
pH		7	7,68	7,3	7,42	7,1	7,51	6,9
pH (lab)		7,05		7,27		7,22		7,03
Eh	mV	471	424	467	486	485	452	495
Eh (lab)	mV	45		39		86		90
LF	µS/cm	2760	1029	1274	2620	2560	2730	3000
LF (lab)	µS/cm	2700		1260		2480		2890
LF (calc)	µS/cm	4225	1156	1425	2759	2861	4515	4452
Dichte	g/cm ³	1,002	1,000	1,001	1,002	1,001	1,001	1,002
Dichte (lab)	g/cm ³	1,002		1,001		1,000		1,002
TDS (lab)	mg/l	2788	1010	1036	1700	2000	2890	2988
TDS (calc)	mg/l	2632	849	1103	1490	2001	2665	3103
DOC	mg/l							
Hauptinhaltsstoffe								
Na	mg/l	28	23	24	267	185	96	89
K	mg/l	4	5	6	5	4	2	3
Ca	mg/l	583	141	159	183	216	552	545
Mg	mg/l	13	42	12	43	15	48	14
Cl	mg/l	68	52	58	427	380	142	140
HCO ₃	mg/l	524	255	490	45	576	267	579
SO ₄	mg/l	1380	277	307	481	432	1537	1380
Begleitstoffe								
CO ₂	mg/l	59,00	< 0,1	36,90	< 0,1	47,10	< 0,1	68,40
CO ₃	mg/l	<10	6,40	<10	2,30	<10	9,93	<10
Fe(II)	mg/l	<0,032	0,08	<0,032	0,09	<0,032	0,29	<0,032
Fe(III)	mg/l	0,11	0,14	<0,032	0,02	<0,032	< 0,01	0,11
Fe _{gesamt}	mg/l							
Mn	mg/l	<1	<0,002	<1	<0,002	<1	<0,002	<1
NO ₂	mg/l	<0,22		<0,22		<0,22		<0,22
NO ₃	mg/l	14	40,81	25	21,27	9,60	8,05	5,90
NH ₄	mg/l	0,14	< 0,03	0,22	< 0,03	0,23	< 0,03	0,19
PO ₄	mg/l	<0,033	< 0,03	<0,033	0,28	<0,033	< 0,03	<0,033
Spurenstoffe								
Al	mg/l	<0,049	<0,01	<0,049	0,02	0,05	0,01	<0,049
As	mg/l	0,001		<0,001		<0,001		0,001
B	mg/l	0,22	<0,01	0,19	< 0,01	0,55	0,1	0,52
Br	mg/l	2	1	2	< 0,1	3	1	<1
Cd	mg/l	<0,00062		<0,00062		<0,00062		<0,00062
Co	mg/l	<0,01		<0,01		<0,01		<0,01
Cr	mg/l	0,002		<0,001		<0,001		0,002
Cu	mg/l	<0,01		<0,01		<0,01		<0,01
F	mg/l	<0,07		<0,07		152		325
I	mg/l	<1		<1		3		<1
Li	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,11	0,10	0,25
Ni	mg/l	0,001		0,07		0,01		0,001
Pb	mg/l	<0,0077		<0,0077		<0,0077		<0,0077
Rb	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	0,800	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/l	6,85		6,48		5,75		7,17
Sr	mg/l	9,0	12,1	14	17	19	12	13
U	mg/l	0,0036		0,0026		0,0023		0,0019
Th	mg/l	<0,001		<0,001		<0,001		<0,001
Zn	mg/l	0,07		0,038		0,014		0,057
Σ Kationen	mmol(eq)/l	31,5	11,6	10,1	24,4	20,2	35,7	32,3
Σ Anionen	mmol(eq)/l	39,4	12,1	16,5	23,1	29,3	40,5	42,2
IBF	%	-11,2	-2	-24	2,7	-18,4	-6,3	-13,3
Mg/Ca		0,04	0,5	0,1	0,4	0,1	0,1	0,04
Na/Cl		0,6	0,7	0,6	1	0,8	1	1
Na/K		11	8	7	97	83	86	45
Cl/Br		77	117	65		286	241	
GW-Typus		Ca-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Na-Ca-Cl-SO ₄	Ca-Na-Cl-HCO ₃ -SO ₄	Ca-SO ₄	Ca-SO ₄ -HCO ₃

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.27: Hydrochemische Analysendatensätze der Quellen und Vorfluter M25 (2003-2010), M63 (2003-2011) und M305 (2003 und 2011).

Probe		M25-2003a	M25-2003b	M25-2010	M63-2003a	M63-2003b	M63-2004	M63-2011	M305-2003	M305-2011
Labor		K-Utec	K-Utec	K-Utec	K-Utec	K-Utec	K-Utec	K-Utec	K-Utec	K-Utec
Proben-Nr.		03-0661/01	03-1537/01	10-1306/07	03-0661/04	03-1537/04	04-1173/16	11-1183/01	03-1649/04	11-1389/01
Datum		07.04.2003	27.06.2003	17.09.2010	07.04.2003	27.06.2003	18.05.2004	11.08.2011	12.09.2003	06.09.2011
T	°C	24,6	22,9	13,9	24,1	15,9	23	14,9	18,7	18,7
O ₂	mg/l			9,87				8,06		0,27
pH		7,94	7,93	7,9	7,26	7,65	7,59	6,7	7,45	6,8
pH (lab)				7,84				6,84		7,46
Eh	mV	494	429	406	509	434	473	356	479	-13
Eh (lab)	mV			86				445		400
LF	µS/cm	3200	3130	2520	123900	108700	107500	108200	47100	39700
LF (lab)	µS/cm			2430				111000		37200
LF (calc)	µS/cm	3790	3675	3062	200120	162061	151924	186962	63099	50619
Dichte	g/cm ³	1,002	1,002	1,001	1,066	1,058	1,055	1,061	1,022	1,018
Dichte (lab)	g/cm ³			1,001				1,060		1,018
TDS (lab)	mg/l	2475	2340	2112	98030	83420	83100	87958		23400
TDS (calc)	mg/l	2334	2181	1954	95497	77192	72754	89423	30170	24432
DOC	mg/l									
Hauptinhaltsstoffe										
Na	mg/l	237	244	151	33941	26510	25900	31000	10440	8000
K	mg/l	42	50	42	541	438	459	666	8	38
Ca	mg/l	248	233	240	1077	1523	556	1490	619	835
Mg	mg/l	148	125	27	809	827	443	890	75	105
Cl	mg/l	440	434	295	53584	43600	40090	49700	16401	12700
HCO ₃	mg/l	209	381	479	352	60	331	316	249	345
SO ₄	mg/l	849	863	685	5140	4216	4925	5270	2372	2380
Begleitstoffe										
CO ₂	mg/l	<0,1	<0,1	9,21	<0,1	<0,1	<0,1	43,93	<0,1	12,97
CO ₃	mg/l	3,20	5,79	<10	18,53	1,30	10,20	<10	9,90	<10
Fe(II)	mg/l	0,10	0,14	<0,032	0,15	<0,01	0,24	<0,032		<0,032
Fe(III)	mg/l	0,03	0,02	<0,032	0,01	0,14	<0,01	<0,032		<0,032
Fe _{gesamt}	mg/l									
Mn	mg/l	<0,002	<0,002	<1	0,15	0,02	0,05	<1		<1
NO ₂	mg/l			<0,22			0,03	<0,22		<0,22
NO ₃	mg/l	---		3		---	9,55	7,20	<0,1	<0,21
NH ₄	mg/l			0,33			0,43	0,14		0,25
PO ₄	mg/l	---		<0,033		---	<0,03	0,05	<0,03	<0,033
Spurenstoffe										
Al	mg/l			0,1				<0,049		<0,049
As	mg/l			0,00				<0,0016		<0,0016
B	mg/l	1,50	1,39	1,63	4,42	3,70		4,87		1
Br	mg/l		<1,0	4	33		29	53	6	7
Cd	mg/l			<0,00062				<0,00062		0,0011
Co	mg/l			<0,01				<0,01		<0,01
Cr	mg/l			0,00				0,004		0,01
Cu	mg/l			<0,01				0,03		<0,01
F	mg/l			<0,07				0		0,55
I	mg/l			17				<1		<0,06
Li	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	0,20	0,60	0,30	0,43		0,19
Ni	mg/l			<0,001				<0,001		<0,001
Pb	mg/l			<0,0077				<0,0077		<0,0077
Rb	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	0,4	0,3	0,3		<0,1
Si	mg/l			5,33				4,45		6,18
Sr	mg/l	4,4	3,9	3	16	13	10	13		14
U	mg/l			0,0024				0,0056		0,0008
Th	mg/l			<0,001				<0,001		<0,001
Zn	mg/l			0,013				6,930		0,022
Σ Kationen	mmol(eq)/l	33,8	35,9	21,9	1610,5	1308,4	1202,6	1513,1	491,4	399,3
Σ Anionen	mmol(eq)/l	36,4	33,5	30,5	1623,8	1318,2	1238,6	1516,5	515,9	413,3
IBF	%	-3,8	4	-16	-0,4	-0,4	-1,5	-0,1	-2,4	-1,7
Mg/Ca		0,88	1,0	0,2	1,2	0,9	1,3	0,98	0,2	0,2
Na/Cl		0,9	0,8	0,8	1	0,9	1	1	1	1
Na/K		8	10	6	107	103	96	79	2094	354
Cl/Br			496	166	3393		3084	2102	6162	4090
GW-Typus		Na-Cl-SO ₄	Na-Cl-SO ₄	Ca-Na-Cl-SO ₄	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.

Tab. E.28: Hydrochemische Analysendatensätze der Ammerbeek-Vorflutermessstelle M401 (2010) und des Teichs im Tal von Wittmar (2010).

Probe		M401-2010	Teich/Wasser/01	Teich/Zulauf/01
Labor		K-UTEC	K-UTEC	K-UTEC
Proben-Nr.		10-1306/06	10-1160/02	10-1160/03
Datum		17.09.2010	19.08.2010	19.08.2010
T	°C	14,1		
O ₂	mg/l	7,33		
pH		7,1		
pH (lab)		7,23	7,34	7,69
Eh	mV	485		
Eh (lab)	mV	45	497	481
LF	µS/cm	1400		
LF (lab)	µS/cm	1360	2350	3440
LF (calc)	µS/cm	1556	2505	4309
Dichte	g/cm ³	1,001		
Dichte (lab)	g/cm ³	1,001	1,001	1,001
TDS (lab)	mg/l	1192	1596	2592
TDS (calc)	mg/l	1229	1353	2725
DOC	mg/l		7,18	5,47
Hauptinhaltsstoffe				
Na	mg/l	38	174	256
K	mg/l	5	46	71
Ca	mg/l	164	203	270
Mg	mg/l	14	29	43
Cl	mg/l	65	264	443
HCO ₃	mg/l	590		639
SO ₄	mg/l	309	614	980
Begleitstoffe				
CO ₂	mg/l	48,60		17
CO ₃	mg/l	<10		<10
Fe(II)	mg/l	<0,032	<0,032	<0,032
Fe(III)	mg/l	0,18	<0,032	<0,032
Fe _{gesamt}	mg/l			
Mn	mg/l	<1	<1	<1
NO ₂	mg/l	<0,22	<0,22	<0,22
NO ₃	mg/l	28	1	9
NH ₄	mg/l	0,10	0,06	0,45
PO ₄	mg/l	0,11	0,04	0,04
Spurenstoffe				
Al	mg/l	0,25	<0,049	<0,049
As	mg/l	0,001	<0,001	<0,001
B	mg/l	0,45	1,28	1,95
Br	mg/l	1	11	<1
Cd	mg/l	<0,00062	<0,00062	<0,00062
Co	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01
Cr	mg/l	0,001	0,007	0,016
Cu	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01
F	mg/l	<0,07	<0,07	<0,07
I	mg/l	2	<1	<1
Li	mg/l	<0,1	<0,1	0,11
Ni	mg/l	0,062	0,015	0,001
Pb	mg/l	<0,0077	<0,0077	<0,0077
Rb	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/l	10,48	7,38	9,07
Sr	mg/l	2,0	2,1	2,3
U	mg/l	0,0028	0,0027	0,0021
Th	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001
Zn	mg/l	0,01	0,03	0,01
Σ Kationen	mmol(eq)/l	11,1	21,3	29,96
Σ Anionen	mmol(eq)/l	18,4	20,2	43,5
IBF	%	-24,8	2,5	-18,4
Mg/Ca		0,14	0,24	0,26
Na/Cl		0,9	1	0,9
Na/K		13	6	6
Cl/Br		147	54	
GW-Typus		Na-Cl-SO ₄	Ca-Na-SO ₄ -Cl	Ca-Na-SO ₄ -Cl-HCO ₃

Die Werte in den grau hinterlegten Spalten stellen jeweils die aus den Analysendaten berechneten bzw. abgeleiteten Werte dar.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 491 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

ANHANG F: ISOTOPENCHEMISCHE ANALYSENDATENSÄTZE

Tab. F.1: Probenliste für das Jahr 2010 der Probennahmekampagne 2010/2011 mit Bezeichnung, Datum, laufender Nummer (BfS) und den analysierten Isotopensystemen.

Probenbezeichnung	Datum der Probennahme	Lfd.-Nr. BfS	³ H	³ H- ³ He	¹⁴ C	² H und ¹⁸ O	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr
PN1-2010-41m	21.04.2010	1	x	x	x	x	x
PN1-2010-185m	21.04.2010	2	x	x	x	x	x
PN2-2010-44m	22.04.2010	3	x	x	x	x	x
PN2-2010-230m	22.04.2010	4	x	x	x	x	x
P16-2010-69m	27.04.2010	5	x	x	x	x	x
P9-2010-11m	28.04.2010	6	x	x	x	x	x
P13-2010-90m	28.04.2010	7	x	x	x	x	x
H5-2010-115m	04.05.2010	8	x	x	x	x	x
H5-2010-20m	04.05.2010	9	x	x	x	x	x
H6-2010-60m	07.05.2010	10	x	x	x	x	x
H6-2010-30m	07.05.2010	11	x	x	x	x	x
H23-2010-150m	18.05.2010	12	x	x	x	x	x
H23-2010-80m	18.05.2010	13	x	x	x	x	x
H17-2010-228m	01.06.2010	14	-	-	-	-	x
H14-2010-47m	02.06.2010	15	-	-	-	-	x
H3-2010-85m	03.06.2010	16	-	-	-	-	x
R5-2010-830m	08.06.2010	17	-	-	-	-	x
R7-2010-830m	09.06.2010	18	-	-	-	-	x
R8-2010-545m	14.06.2010	21	-	-	-	-	x
H24b-2010-170m	15.06.2010	22	-	-	-	-	x
H24b-2010-110m	15.06.2010	23	-	-	-	-	x
P17-2010-55m	17.06.2010	24	-	-	-	-	x
H9-2010-50m	21.06.2010	25	-	-	-	-	x
H16-2010-33m	22.06.2010	26	-	-	-	-	x
P15-2010-40m	23.06.2010	27	-	-	-	-	x
M10-2010	19.08.2010	28	x	x	x	x	x
H7-2010-29m	01.09.2010	29	x	-	x	x	x
M20-2010	17.09.2010	30	x	-	x	x	x
M401-2010	17.09.2010	32	x	x	x	x	x
M21-2010	17.09.2010	33	x	x	x	x	x
M17-2010	17.09.2010	34	x	x	-	x	x
M15-2010	20.09.2010	35	x	x	-	x	x
M2-2010	20.09.2010	36	x	x	x	x	x



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 492 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. F.2: Probenliste für das Jahr 2011 der Probennahmekampagne 2010/2011 mit Bezeichnung, Datum, laufender Nummer (BfS) und den analysierten Isotopensystemen.

Probenbezeichnung	Datum der Probennahme	Lfd.-Nr. BfS	³ H	³ H- ³ He	¹⁴ C	² H und ¹⁸ O	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr
S1-2011a-40m	09.05.2011	37	x	–	x	x	x
S1-2011a-60m	09.05.2011	38	x	–	x	x	x
S1-2011a-112m	09.05.2011	39	x	–	x	x	x
S3-2011a-185m	10.05.2011	40	x	–	x	x	x
S3-2011a-575m	10.05.2011	41	x	–	x	x	x
S3-2011a-600m	10.05.2011	42	x	–	x	x	x
M63-2011	11.08.2011	43	x	x	x	x	x
M305-2011	06.09.2011	44	x	x	x	x	x
S3-2011b-185m	22.09.2011	45	–	x	–	–	–
S3-2011b-575m	22.09.2011	46	–	x	–	–	–
S3-2011b-600m	22.09.2011	47	–	x	–	–	–
R5-2011-830m	17.10.2011	48	x	x	–	–	–
R7-2011-830m	18.10.2011	49	x	x	–	–	–
R8-2011-545m	20.10.2011	50	x	x	–	–	–
S1-2011b-40m	21.10.2011	51	x	x	–	–	–
S1-2011b-60m	21.10.2011	52	x	x	–	–	–
S1-2011b-112m	21.10.2011	54	x	x	–	–	–

Tab. F.3: Probenliste der Probennahmekampagne 2012 mit Bezeichnung, Datum, laufender Nummer (BfS) und den analysierten Isotopensystemen.

Probenbezeichnung	Datum der Probennahme	Lfd.-Nr. BfS	³ H	³ H- ³ He	¹⁴ C	² H und ¹⁸ O	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr
H14-2012-47m	04.06.2012	55	x	x	x	x	–
H16-2012-33m	04.06.2012	56	x	x	x	x	–
P15-2012-40m	05.06.2012	57	x	x	x	x	–
P17-2012-55m	05.06.2012	58	x	x	x	x	–
R7-2012-830m	06.06.2012	59	–	–	x	x	–
R8-2012-545m	06.06.2012	60	–	–	x	x	–
H24b-2012-166m	07.06.2012	61	x	x	x	x	–
H24b-2012-110m	07.06.2012	62	x	x	x	x	–
R5-2012-830m	11.06.2012	63	–	–	x	x	–
H17-2012-228m	12.06.2012	64	x	x	x	x	–
H3-2012-85m	12.06.2012	65	x	x	x	x	–
H9-2012-50m	13.06.2012	66	x	x	x	x	–
H7-2012-29m	13.06.2012	67	–	x	–	–	–
M25-2012	14.06.2012	68	x	x	x	x	–
M20-2012	14.06.2012	69	–	x	–	–	–
M17-2012	14.06.2012	70	–	–	x	–	–
M15-2012	14.06.2012	71	–	–	x	–	–



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 493 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. F.4: Ergebnisse der Tritium und Edelgasanalysen der Wasserproben aus den hydrogeologischen Messstellen des Asse-Höhenzuges (2010/2011).

Probe	Lithologie	Lfd.-Nr. ⁽¹⁾	³ H	±2σ	Delta Ne	⁴ He _{rad}	³ He _{tri}	³ H/ ³ He-Alter	Infilt.-jahr	Anteil ³ H-freies Wasser
			(TU)	(TU)	(%)	(Nml/kg)	(TU)	(a)		(%)
H3-2012-85m	su	64	3,5	0,2	-18	5·10 ⁻⁶	<2	<10		50-70
S1-2011a-40m	su	37	6,45	0,36	n.b.	n.b.	n.b.			
S1-2011a-60m	su	38	6,49	0,36	n.b.	n.b.	n.b.			
S1-2011a-112m	su	39	6,39	0,35	n.b.	n.b.	n.b.			
S1-2011b-40m	su	51	6,1	0,3	-50	4,2·10 ⁻⁶	2	4,5	2006	
S1-2011b-60m	su	52	6,0	0,3	-21	3,0·10 ⁻⁶	3,6	8	2003	
S1-2011b-112m	su	53	6,0	0,3	-27	4,9·10 ⁻⁶	4,4	9	2002	
S3-2011b-185m	su/z	45	1,23	0,11	546/905	1,7·10 ⁻⁴	n.d.			
S3-2011b-575m	su/z	46	0,48	0,04	430	1,6·10 ⁻⁴	n.d.			
S3-2011b-600m	su/z	47	0,42	0,04	414	1,2·10 ⁻⁴	n.d.			
H24b-2012-110m	so	61	3,05	0,1	n.b.	n.b.	n.b.			50-75
H24b-2012-166m	so	60	2,25	0,1	n.b.	n.b.	n.b.			60-80
H14-2012-47m	mu	55	8,9	0,4	270	8,1·10 ⁻⁵	<2	<10		0
H23-2010-80m	mu	13	7,3	0,4	-43/-94	6,0·10 ⁻⁶	3,2	0	2010	
H23-2010-150m	mu	12	6,6	0,3	-5	1,5·10 ⁻⁵	3,5	7	2003	
P16-2010-69m	mu	5	9,0	0,3	-19/24	6,4·10 ⁻⁶	5	6	2004	
PN1-2010-41m	mu	1	5,2	0,2	43/89	0	0	0	2010	
PN1-2010-185m	mu	2	7,5	0,2						
PN2-2010-44m	mu	3	4,4	0,3	35	0	0	9	2001	
PN2-2010-230m	mu	4	1,5	0,1	5000					
R5-2011-830m	mu	48	0,08	0,03	n.d.	3,7·10 ⁻¹	n.d.			
R7-2011-830m	mu	49	0,17	0,04	n.d.	1,5·10 ⁻¹	n.d.			
R8-2011-545m	mu	50	0,48	0,05	n.d.	4,7·10 ⁻²	n.d.			
H6-2010-30m	mm	11	10,5	0,4	-23/-14	1,5·10 ⁻⁶	2	3,5	2007	
H6-2010-60m	mm	10	5,3	0,3	1/17	3,6·10 ⁻⁵	3,5	8,5	2002	
H16-2012-33m	mm	56	4,7	0,3	188	3,6·10 ⁻⁵	<2	<10		30-50
P13-2010-90m	mm/so	7	0,9	0,1	1					
P9-2010-11m	km	6	7,0	0,4	-57	0	0	0	2010	
P17-2012-55m	km	62	0,3	0,1	n.b.	n.b.	n.b.			95-98
P15-2012-40m	ko	57	6,4	0,3	40	2·10 ⁻⁶	<2	<10		0-30
H7-2010-29m	ju	29	2,9	0,1	n.b.	n.b.	n.b.			
H7-2012-29m	ju	66	n.b.	n.b.	-72	9,5·10 ⁻⁵	<2			95-100
H9-2012-50m	ju	65	0,05	0,05	74	3,4·10 ⁻⁴	<2	>60		100
H5-2010-20m	z3r	9	7,7	0,4	20	5,0·10 ⁻⁷	0,5	1,5	2008	
H5-2010-115m	z3r	8	5,0	0,2						
H17-2012-228m	S.G.	63	0,6	0,1	n.b.	n.b.	n.b.			92-95
658008-06		1	8,9	0,3	-80	1,5·10 ⁻⁵	<2	<10		0

⁽¹⁾ Lfd.-Nr. nach Angaben des Labor der Universität Bremen; Nummern korrespondieren nicht mit der Lfd.-Nr. des BfS

n.b.: nicht bestimmt und n.d.: nicht detektiert



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 494 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. F.5: Ergebnisse der Tritium und Edelgasanalysen der Wasserproben aus den hydrogeologischen Messstellen des Asse-Höhenzuges (2010/2011).

Probe	Lithologie	Lfd.-Nr. ⁽¹⁾	³ H	$\pm 2\sigma$	Delta Ne	⁴ He _{rad}	³ He _{tri}	³ H/ ³ He-Alter	Infiltrationsjahr	Anteil ³ H-freies Wasser
			(TU)	(TU)	(%)	(Nml/kg)	(TU)	(a)		(%)
M17-2010	s	34	3,8	0,4	21	1,23·10 ⁻⁴	4,5	14	1996	
M63-2011	s/z	43	4,66	0,26	-38	9,79·10 ⁻⁵	2,4	7	2004	
M305-2011	su/m	44	4,96	0,28	n.d.	2,18·10 ⁻³	n.d.			
M10-2010	so	28	7,7	0,2	10	9,6·10 ⁻⁶	2,2	5	2005	
M2-2010	mu	36	6,8	0,3	8	2,7·10 ⁻⁶	1,5	4	2006	
M20-2010	mu	30	5,6	0,3	n.b.	n.b.	n.b.			
M20-2012	mu	68	n.b.	–		2,2·10 ⁻⁵	<2			95-100
M15-2010	mm	35	6,3	0,3	2	3,85·10 ⁻⁵	1	2,5	2008	
M21-2010	mm	33	5,7	0,3	14/89	2,2·10 ⁻⁵	3,8	9	2001	
M25-2012	Roth.Ba.	67	6,8	0,2	-4	1·10 ⁻⁶	<2	<10		0
M401-2010	Ammer.	32	6,9	0,4	3	5,0·10 ⁻⁷	1,2	2,5	2007	

⁽¹⁾ Lfd.-Nr. nach Angaben des Labor der Universität Bremen; Nummern korrespondieren nicht mit der Lfd.-Nr. des BfS

n.b.: nicht bestimmt und n.d.: nicht detektiert



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 495 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. F.6: Ergebnisse der Kohlenstoffisotopenanalysen (^{14}C -Aktivität; konventionelle ^{14}C -Alter; $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aus den AMS- und IRMS-Messungen) für die Wasserproben aus den GWM des Asse-Höhenzuges (2010/2011).

Probe	Lithologie	Labor-Nr.	pMC ⁽¹⁾	Konventionelles ^{14}C -Alter	$\delta^{13}\text{C}_{\text{AMS}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{IRMS}}$
			(%)	(a, BP)	(‰ V-PDB)	(‰ V-PDB)
H3-2010-85m	su	48007	64,56 ± 0,32	3515 ± 40	-12,21 ± 0,19	-12,86 ± 0,04
S1-2010-40m	su	45613	73,02 ± 0,24	2525 ± 25	-14,31 ± 0,26	-13,60 ± 0,04
S1-2010-60m	su	45614	73,30 ± 0,24	2495 ± 25	-14,32 ± 0,37	-13,52 ± 0,04
S1-2010-112m	su	45615	73,01 ± 0,25	2525 ± 30	-14,87 ± 0,46	-13,70 ± 0,04
S3-2010-185m	su,z3r,z	45616	84,3 ± 0,33	1370 ± 30	-17,49 ± 0,26	-16,7 ± 0,1
S3-2010-575m	su,z3r,z	45617	97,09 ± 0,36	235 ± 30	-21,5 ± 0,22	-20,43 ± 0,1
H24b-2010-110m	so	48012	203,95 ± 0,48	>1954 A.D. ⁽²⁾	-17,88 ± 0,23	-17,19 ± 0,04
H24b-2010-166m	so	48013	191,01 ± 0,43	>1954 A.D. ⁽²⁾	-17,13 ± 0,22	-17,07 ± 0,04
H14-2010-47m	mu	48009	80,38 ± 0,28	1755 ± 30	-12,70 ± 0,18	-12,78 ± 0,04
H23-2010-80m	mu	43984	73,82 ± 0,24	2440 ± 25	-11,65 ± 0,36	-10,22 ± 0,04
H23-2010-150m	mu	43983	74,79 ± 0,26	2335 ± 30	-10,45 ± 0,18	-9,26 ± 0,04
P16-2010-69m	mu	43976	85,16 ± 0,27	1290 ± 25	-13,36 ± 0,25	-11,74 ± 0,04
PN1-2010-41m	mu	43972	57,82 ± 0,21	4400 ± 30	-8,60 ± 0,14	-10,11 ± 0,04
PN1-2010-185m	mu	43973	75,91 ± 0,26	2215 ± 25	-12,38 ± 0,26	-12,78 ± 0,1
PN2-2010-44m	mm	43974	34,15 ± 0,15	8630 ± 35	-11,11 ± 0,22	-10,86 ± 0,04
PN2-2010-230m	mu	43975	9,36 ± 0,11	19020 +100/-90	-4,44 ± 0,28	-2,81 ± 0,04
H6-2010-60m	q,mm,so	43981	69,37 ± 0,26	2940 ± 30	-12,19 ± 0,32	-12,14 ± 0,1
R8-2010-545m	mu	48021	62,96 ± 0,36	3715 ± 45	-8,50 ± 0,15	-9,55 ± 0,04
H6-2010-30m	mm	43982	72,52 ± 0,25	2580 +30/-25	-15,09 ± 0,36	-13,10 ± 0,04
H16-2010-33m	mm	48010	155,53 ± 0,43	>1954 A.D. ⁽²⁾	-23,73 ± 0,19	-22,97 ± 0,04
P13-2010-90m	mm,so	43978	139,37 ± 0,36	>1954 A.D. ⁽²⁾	-20,14 ± 0,3	-19,2 ± 0,1
P9-2010-11m	km	43977	100,52 ± 0,33	>1954 A.D. ⁽²⁾	-16,20 ± 0,38	-15,56 ± 0,04
P17-2010-55m	km	48018	859,54 ± 3,50	>1954 A.D. ⁽²⁾	-14,71 ± 0,35	-14,89 ± 0,04
P15-2010-40m	ko	48017	94,52 ± 0,31	455 ± 25	-14,26 ± 0,17	-13,96 ± 0,04
H7-2010-29m	ju	43986	29,89 ± 0,17	9700 ± 45	-13,91 ± 0,34	-11,55 ± 0,04
H9-2010-50m	ju	48008	37,23 ± 0,19	7940 ± 40	-13,11 ± 0,17	-14,12 ± 0,04
H5-2010-20m	z3r	43980	83,69 ± 0,28	1430 ± 25	-14,50 ± 0,26	-12,59 ± 0,04
H5-2010-115m	so,z3r	43979	82,78 ± 0,31	1520 ± 30	-10,14 ± 0,24	-11,97 ± 0,1
658008-11&12	-	48073	119,59 ± 0,32	>1954 A.D. ⁽²⁾	-1,78 ± 0,12	-1,19 ± 0,04

⁽¹⁾ Um messtechnische Effekte korrigiert

⁽²⁾ „>1954 A.D.“ bedeutet, dass die Probe Bomben- ^{14}C enthält



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 496 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. F.7: Ergebnisse der Kohlenstoffisotopenanalysen (^{14}C -Aktivität; konventionelle ^{14}C -Alter; $\delta^{13}\text{C}$ -Werte aus den AMS- und IRMS-Messungen) für die Wasserproben aus den M-Messstellen des Asse-Höhenzuges (2010/2011).

Probe	Lithologie	Labor-Nr.	pMC	Konventionelles ^{14}C -Alter	$\delta^{13}\text{C}_{\text{AMS}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{IRMS}}$
			(%; korr. ⁽¹⁾)	(a, BP)	(‰ V-PDB)	(‰ V-PDB)
M17-2010	s	48015	67,71 ± 0,23	3130 ± 25	-14,75 ± 0,20	-14,28 ± 0,04
M63-2010	s/z	46317	70,35 ± 0,25	2825 ± 30	-12,86 ± 0,40	-12,68 ± 0,04
M305-2010	su/m	46318	47,77 ± 0,18	5935 ± 30	-11,99 ± 0,28	-9,59 ± 0,04
M10-2010	so	43985	77,62 ± 0,38	2035 ± 40	-14,49 ± 0,32	-13,18 ± 0,04
M2-2010	mu	43990	78,64 ± 0,30	1930 ± 30	-15,21 ± 0,43	-13,19 ± 0,04
M2-2010	mu	48016	80,55 ± 0,25	1740 ± 25	-9,59 ± 0,19	-10,10 ± 0,04
M20-2010	mu	43987	66,36 ± 0,26	3295 ± 30	-10,48 ± 0,26	-9,47 ± 0,04
M15-2010	mm	48014	64,73 ± 0,22	3495 ± 30	-10,42 ± 0,19	-10,68 ± 0,04
M21-2010	mm	43989	69,22 ± 0,36	2955 ± 40	-9,6 ± 0,31	-10,09 ± 0,1
M401-2010	Am. ⁽³⁾	43988	100,14 ± 0,31	>1954 A.D. ⁽²⁾	-16,78 ± 0,18	-15,14 ± 0,04

⁽¹⁾ Um messtechnische Effekte korrigiert

⁽²⁾ „>1954 A.D.“ bedeutet, dass die Probe Bomben- ^{14}C enthält

⁽³⁾ Am. = Ammerbeek (Vorfluter-Messstelle)



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 497 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. F.8: Ergebnisse der Wasserisotopenanalysen für die GWM (2010-2011).

Probe ⁽¹⁾	Lithologie	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	^2H -Exzess	Methode
		(‰)	(‰)	(‰)	
H3-2012-85m	su	-59,7	-8,8	10,4	CRDS
S1-2011-40m	su	-59,4	-8,63	9,6	CRDS
S1-2011-60m	su	-66,2	-9,42	9,1	CRDS
S1-2011-112m	su	-57,0	-8,33	9,6	CRDS
S3-2011-185m	su,z3r,z	-59,2	-8,69	10,3	CRDS + dest.
S3-2011-575m	su,z3r,z	-58,0	-8,45	9,6	CRDS + dest.
S3-2011-600m	su,z3r,z	-59,9	-9,99	20,1	CRDS + dest.
H24b-2012-166m	so	-46,4	-7,6	14,3	CRDS + dest.
H24b-2012-110m	so	-48,0	-7,9	15,2	CRDS + dest.
H14-2012-47m	mu	-59,6	-8,7	10,0	CRDS
H23-2010-80m	mu	-60,0	-8,74	10,0	CRDS
H23-2010-150m	mu	-58,7	-8,26	7,4	CRDS
P16-2010-69m	mu	-59,2	-8,69	10,3	CRDS
PN1-2010-41m	mu	-59,4	-8,63	9,6	CRDS
PN1-2010-185m	mu	-66,2	-9,42	9,1	CRDS
PN2-2010-44m	mm	-57,0	-8,33	9,6	CRDS
PN2-2010-230m	mu	-59,7	-8,82	10,9	CRDS
R5-2012-830m	mu	-29,1	-2,3	-10,7	CRDS + dest.
R7-2012-830m	mu	-29,2	-2,4	-9,9	CRDS + dest.
R8-2012-545m	mu	-55,0	-8,0	8,8	CRDS + dest.
H6-2010-30m	q,mm,so	-58,9	-8,52	9,3	CRDS
H6-2010-60m	q,mm,so	-62,4	-8,97	9,4	CRDS + dest.
H16-2012-33m	mm	-62,2	-9,7	15,3	CRDS + dest.
P13-2010-90m	mm,so	-59,9	-9,99	20,1	CRDS + dest.
P9-2010-11m	km	-58,0	-8,45	9,6	CRDS
P17-2012-55m	km	-54,9	-9,6	21,8	CRDS + dest.
P15-2012-40m	ko	-62,9	-9,0	9,2	CRDS
H7-2010-29m	ju	-57,4	-8,27	8,8	CRDS
H9-2012-50m	ju	-60,6	-8,9	10,4	CRDS
H5-2010-20m	so,z3r	-58,6	-8,43	8,9	CRDS
H5-2010-115m	so,z3r	-56,2	-10,09	24,5	CRDS + dest.
H17-2012-228m	Subrosionsgerinne	-66,1	-9,8	12,0	CRDS

⁽¹⁾ keine Labornummern benannt.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 498 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. F.9: Ergebnisse der Wasserisotopenanalysen für die M-Messstellen (2010/2011).

Probe ⁽¹⁾	Lithologie	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	^2H -Exzess	Methode
		(‰)	(‰)	(‰)	
M17-2010	s	-59,5	-8,65	9,7	CRDS
M63-2011	s/z	-58,0	-8,51	10,1	CRDS + dest
M305-2011	su/m	-57,5	-8,40	9,7	CRDS + dest
M10-2010	so	-59,8	-8,65	9,4	CRDS
M2-2010	mu	-58,4	-8,50	9,6	CRDS
M20-2010	mu	-58,7	-8,55	9,7	CRDS
M21-2010	mm	-59,4	-8,68	10,0	CRDS
M15-2010	mm	-59,2	-8,57	9,4	CRDS
M25-2012	Rothebach	-55,3	-7,8	6,7	CRDS
M401-2010	Ammerbeek	-55,6	-8,10	9,2	CRDS

⁽¹⁾ keine Labornummern benannt.

Tab. F.10: Ergebnisse der Wasserisotopenanalysen für die an der Zutrittsstelle L658008 auf der 658-m-Sohle gefasste Zutrittslösung im Asse-Grubengebäude. $\delta^2\text{H}$ wurde durch H_2 -Äquilibration und IRMS, $\delta^{18}\text{O}$ durch CO_2 -Äquilibration und IRMS gemessen.

Probe ⁽¹⁾	Datum	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	^2H -Exzess
		(‰)	(‰)	(‰)
L658008	10.04.2003	-7,12	-56,8	0,1
L658008	20.06.2005	-6,99	-57,1	-1,2
L658008	13.09.2005	-7,30	-55,1	3,3
L658008	15.12.2005	-7,22	-56,8	0,9
L658008	15.03.2006	-7,13	-58,2	-1,1
L658008	15.06.2006	-7,35	-56,5	2,3
L658008	24.09.2006	-7,38	-58,1	0,9
L658008	12.12.2006	-7,32	-59,5	-0,9
L658008	16.03.2007	-7,37	-57,3	1,7
L658008	21.06.2007	-7,98	-57,8	6,0
L658008	20.09.2007	-7,86	-55,4	7,5
L658008	13.12.2007	-7,69	-56,8	4,8

⁽¹⁾ keine Labornummern benannt.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 499 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. F.11: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse, 2σ -Standardfehler und Sr-Gehalte der Grundwässer aus den GWM des Asse-Höhenzuges (2010/2011).

Probe	Lithologie	Labor-Nr.	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2σ -Standardfehler	Sr (mg/l)
H3-2010-85m	su	3163	0,710200	0,000026	0,6
H24b-2010-110m	so	3168	0,708429	0,000029	84
H24b-2010-170m	so	3167	0,708452	0,000029	100
H14-2010-47m	mu	3162	0,707995	0,000035	22,6
H23-2010-80m	mu	3160	0,707967	0,000014	12,5
H23-2010-150m	mu	3159	0,707966	0,000027	13,8
P16-2010-69m	mu	3152	0,707988	0,000028	3,91
PN1a-2010-40.5m	mu	3148	0,707981	0,000023	14
PN1b-2010-185m	mu	3149	0,707993	0,000028	7,9
PN2a-2010-43.7m	mm	3150	0,708077	0,000034	11,9
PN2b-2010-230m	mu	3151	0,707950	0,000025	10,3
R5-2010-830m	mu	3164	0,708152	0,000074	190
R7-2010-830m	mu	3165	0,707926	0,000028	220
R8-2010a-545m	mu	3166	0,707890	0,000033	24,6
H6-2010-30m	q,mm,so	3158	0,708706	0,000234	3,4
H6-2010-60m	q,mm,so	3157	0,708342	0,000036	14,1
H16-2010-33m	mm	3171	0,708062	0,000021	8
P13-2010-90m	mm,so	3154	0,708598	0,000044	25,8
P9-2010-11m	km	3153	0,708485	0,000031	3,3
P17-2010-55m	km	3169	0,708325	0,000031	25,9
P15-2010-40m	ko	3172	0,709042	0,000034	0,34
H7-2010-29m	ju	3174	0,707935	0,000034	1,46
H9-2010-50m	ju	3170	0,708289	0,000031	2,31
H5-2010-20m	so,z3r	3156	0,707723	0,000029	7,22
H5-2010-115m	so,z3r	3155	0,707150	0,000025	12,6
H17-2010-228m	Sub. Ger.	3161	0,707997	0,000016	10,4

Tab. F.12: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse, 2σ -Standardfehler und Sr-Gehalte der Wässer aus den M-Messstellen des Asse-Höhenzuges (2010/2011).

Probe	Lithologie	Labor-Nr.	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2σ -Standardfehler	Sr (mg/l)
M17-2010	s	3178	0,708677	0,000044	4
M10-2010	so	3173	0,708330	0,000024	8,64
M2-2010	mu	3180	0,708258	0,000018	8,97
M20-2010	mu	3175	0,707935	0,000024	19
M15-2010	mm	3179	0,707973	0,000029	13,6
M21-2010	mm	3177	0,708003	0,000020	13
M401-2010	Ammerbeek	3176	0,708609	0,000023	2,04



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 500 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

ANHANG G: DATEN FÜR DAS HYDROLOGISCHE JAHR 2012

Im Rahmen dieses Anhangs werden die im hydrologischen Jahr 2012 erhobenen hydrogeologischen, meteorologischen und hydrologischen Daten dargestellt. Diese umfassen die Grundwasserganglinien der GWM (Anhang G.1), die meteorologischen Daten der Klimastation bei Schacht Asse 2 (Anhang G.2.1), die am Pegel Wendessen gemessenen Abflussdaten der Altenau sowie die in der Südflanke des Asse-Grubengebäudes gefasste Zutrittslösung (Anhang G.2.2), die im vorliegenden Bericht als Abfluss von Grundwasser aus dem Asse-Deckgebirge betrachtet wird (vgl. Kap. 5.4).

Die wenigen i.W. als Nachzügler während des hydrologischen Jahres 2012 erhobenen hydrochemischen und isotochemischen Analysendaten wurden bereits im Kap. 8 bzw. Kap. 9 integriert und werden hier nicht nochmals aufgeführt.

G.1 Grundwasserganglinien

Die Datengrundlage für die Darstellung der Grundwasserganglinien bilden die in den GWM (Übersicht in Kap. 3.2) in monatlichen Abständen mittels Lichtlot gemessenen Abstiche sowie die Ganglinien der Druckhöhe der Druckaufnehmer vom Typ Seba und vom Typ Diver für den Zeitraum 01.11.2011 bis 31.10.2012 (Technische Details in Kap. 4.1). Bei beiden Druckaufnehmersystemen wird jeweils alle 10 Minuten ein Messwert abgespeichert. Die Druckaufnehmerdaten wurden entsprechend den Ausführungen in Kap. 4.1.2 aufbereitet. Für die Ganglinien der Diver-Daten wurde – wie in den Jahren zuvor (vgl. Kap. 4.1.3) – eine Luftdruckkompensation mittels der an der meteorologischen Station bei Schacht Asse II gemessenen Luftdruckganglinie durchgeführt¹. Anschließend wurden die gemessenen Abstiche und Druckhöhen mittels der in Kap. 4.1.4 dargestellten Korrekturterme in eine Süßwasserdruckspiegelhöhe umgerechnet und grafisch dargestellt.

Die Grundwasserganglinien der GWM des hydrogeologischen Messnetzes des Asse-Höhenzuges sind in den Abb. G.1 bis G.24 gezeigt. Die Extremwerte der Ganglinien finden sich in Tab. G.1 (H-Bohrungen), Tab. G.2 (P- und PN-Bohrungen) sowie in Tab. G.3 (R-Bohrungen und Schächte). Aufgrund der Beobachtung, dass die Grundwasserganglinien vieler GWM für das Jahr 2012 weitestgehend dem Muster der bereits in den Vorjahren beobachteten und in Kap. 4.2 für jede GWM detailliert dargelegten saisonalen Schwankungen folgen, werden nachfolgend nur wesentliche Abweichungen von diesem Muster sowie signifikante Ereignisse (z.B. Ausfallzeiten) während des hydrologischen Jahres 2012 dargestellt.

- Die Höhe des Anstiegs der Süßwasserdruckspiegelhöhe ist im Winterhalbjahr 2011-2012 zumeist deutlich geringer als die des Anstieges im Vorjahr, und in etwa vergleichbar zu den in den hydrologischen Jahren 2009 und 2010 beobachteten Werten. Hervorzuheben ist der in mehreren Messstellen (z.B. GWM P16; Abb. G.8) beobachtete Anstieg der Süßwasserdruckspiegelhöhe im Juli und August 2012, der zusätzlich zum o.g. saisonal typischen Anstieg in den Monaten Dezember und Januar erfolgt. Der ungewöhnlich geringe Anstieg im

¹ Die Ganglinie des Baro-Divers in Schacht Asse 1 weist mehrere längerfristige Ausfälle während des hydrologischen Jahres 2012 auf



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 501 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Winterhalbjahr sowie der beobachtete zusätzliche Anstieg im Spätsommer lässt sich mit den verhältnismäßig geringen Niederschlägen während des Winterhalbjahrs 2011-2012 und den hohen Niederschlägen während des Spätsommers 2012 in Verbindung bringen (vgl. Kap. G.2 und Abb. G.25).

- In nahezu allen GWM liegt die Süßwasserdruckspiegelhöhe am Ende des hydrologischen Jahres 2012 tiefer als zu Beginn des Jahres. Ausnahmen sind die GWM H1, H5, P9 und P17, die jeweils keine signifikante Veränderung (d.h. ca. ± 10 cm) zum Vorjahr zeigen, sowie die beiden GWM H7 (+20 cm) und Schacht Asse 1 (+1,6 m), die beide einen Anstieg der Süßwasserdruckspiegelhöhe aufweisen.
- Die im hydrologischen Jahr 2012 beobachteten minimalen und maximalen Süßwasserdruckspiegelhöhen liegen, mit Ausnahme der GWM H7, P17 sowie der PN1 und 2 die ihren tiefsten Wert im hydrologischen Jahr 2012 aufweisen, innerhalb der im Zeitraum seit Beginn der Messungen beobachteten Extremwerte (Tab. G.1 bis G.3).
- Insgesamt sind die Verläufe der mittels des Diver-Druckaufnehmersystems beobachteten GW-Ganglinien jeweils vergleichbar zu den mittels des Seba-Systems beobachteten Verläufen. Abweichungen im Bereich von bis zu max. 10 cm bis 20 cm der GW-Ganglinien sind höchstwahrscheinlich i.W. auf Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der Einbautiefe zurückzuführen (vgl. Kap. 4.8).
- Längerfristige Ausfälle des Diver-Druckaufnehmersystems gab es in den folgenden vier GWM:
 - H14: ca. 6 Monate (erste Jahreshälfte 2012)
 - H23: ca. 2 Monate (Mai-Juni 2012)
 - R5: ca. 3 Monate (April bis Mai 2012)
 - R7: ca. 7 Monate (Ausfall ab dem 22.05.2012)
- Für die Druckaufnehmer des Seba-Systems wurden im hydrologischen Jahr 2012 keine längerfristigen Ausfälle verzeichnet. Jedoch treten bei diesem System in einzelnen Messstellen kurzzeitige Sprünge der GW-Ganglinie auf (z.B. in GWM P15 und H17), die möglicherweise durch eine Verschiebung der Einbautiefe des Druckaufnehmers hervorgerufen werde. Zudem wurde in GWM H3 ein ungewöhnlicher Defekt beobachtet, bei dem die gemessenen Werte in den Monaten Februar und März 2012 abnormale Schwankungen um ± 3 m aufweisen (Abb. G.1). Im Gegensatz dazu zeigt die GW-Ganglinie des Diver-Systems keine signifikanten Veränderungen der Süßwasserdruckspiegelhöhe.
- Im Tiefpegel der GWM PN1 wurden – wie in den Jahren zuvor (vgl. Kap. 4.7) – kurzzeitige extreme Aufspiegelungen der Süßwasserdruckspiegelhöhe (+16 m) beobachtet (Abb. G.9). Diese sind auf das Einströmen von Oberflächenwasser in das Schachtbauwerk und dann in das Standrohr dieser GWM zurückzuführen.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 502 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

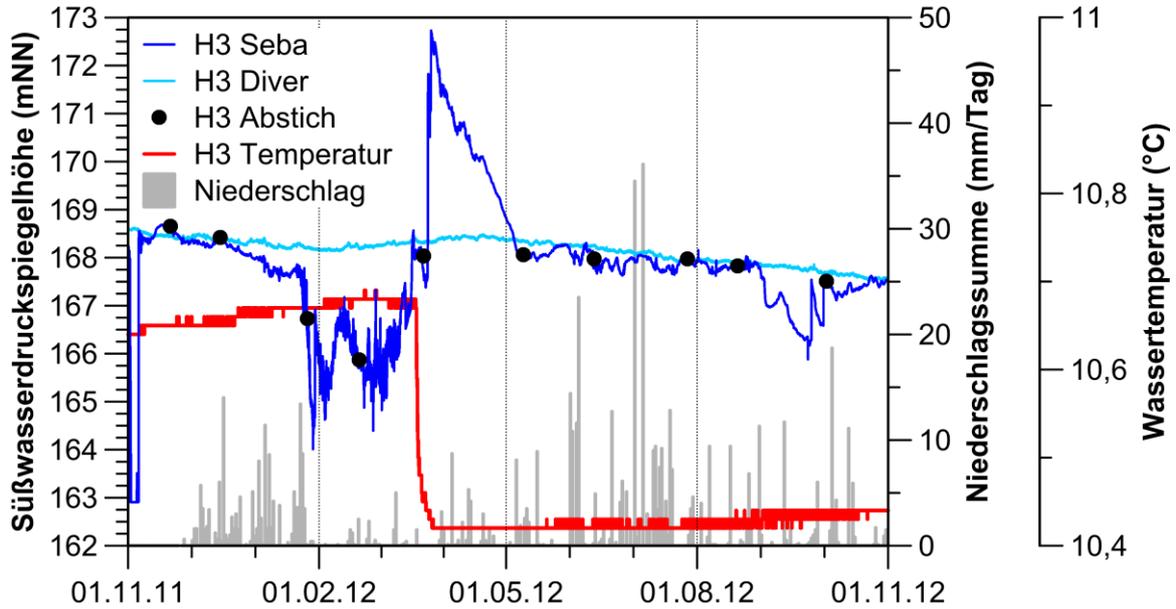


Abb. G.1: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H3 (su) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).

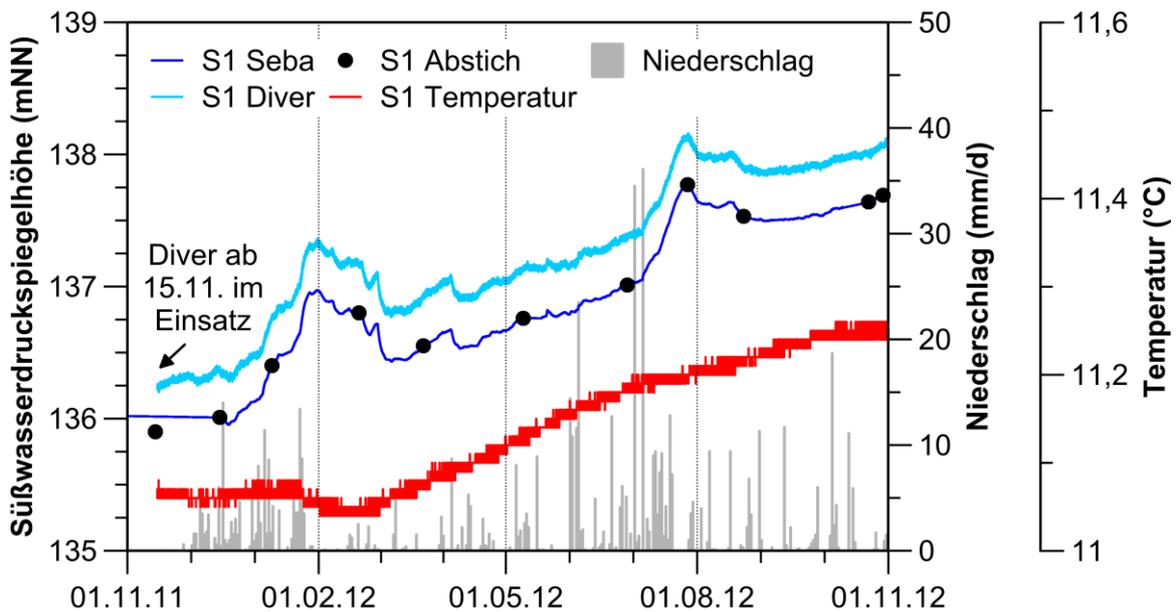


Abb. G.2: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in Schacht Asse 1 (su) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 503 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

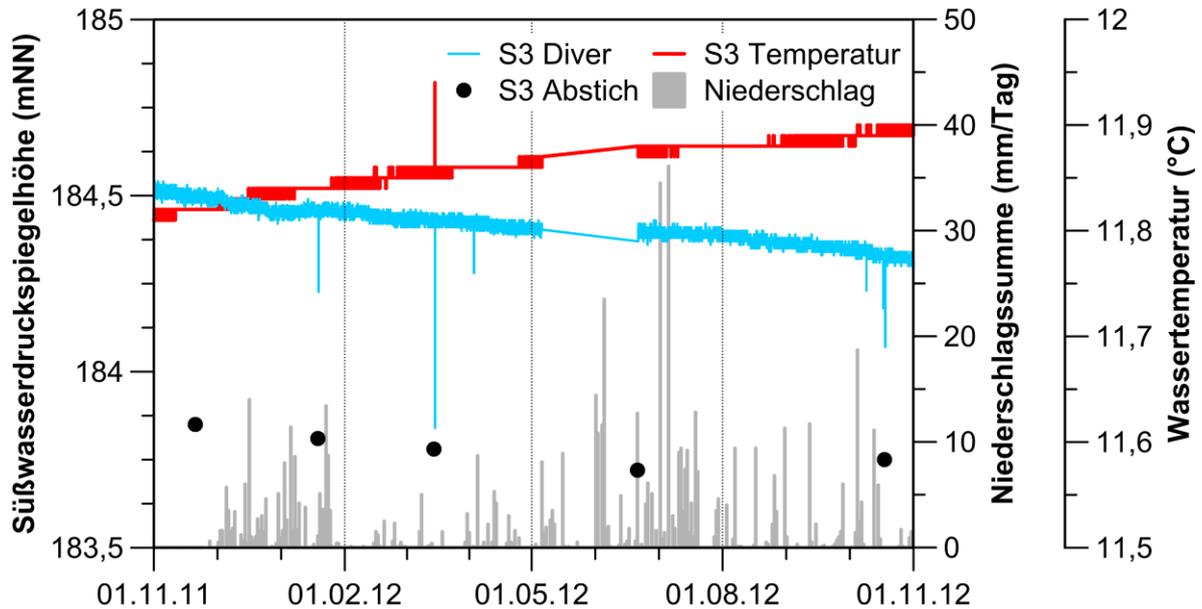


Abb. G.3: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in SchachtASSE 3 (su, z3r) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).

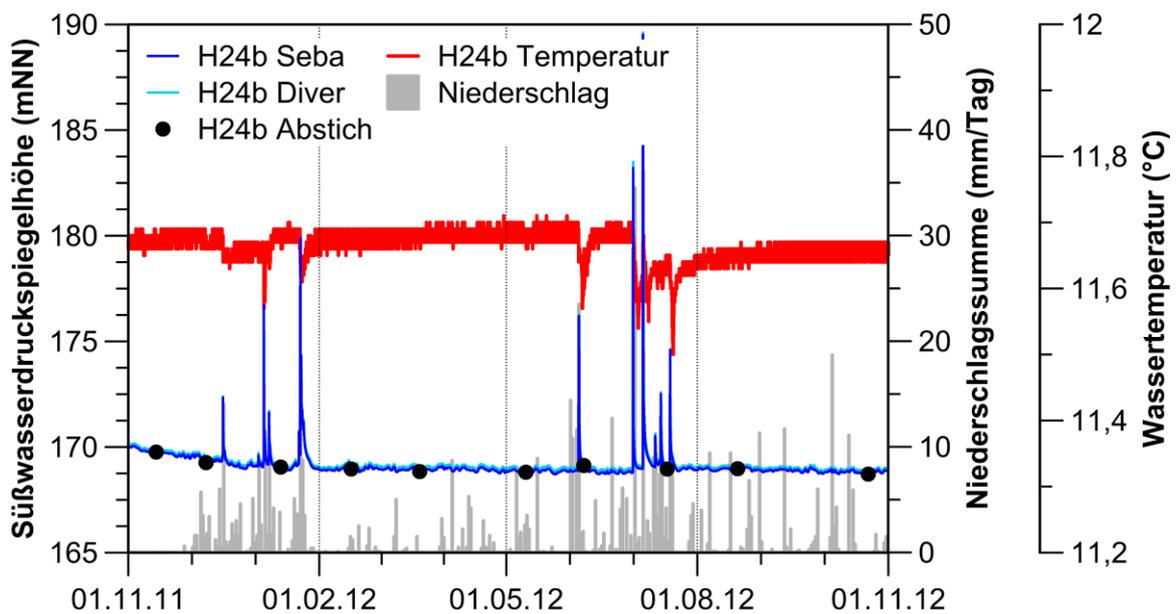


Abb. G.4: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H24b (so) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 504 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

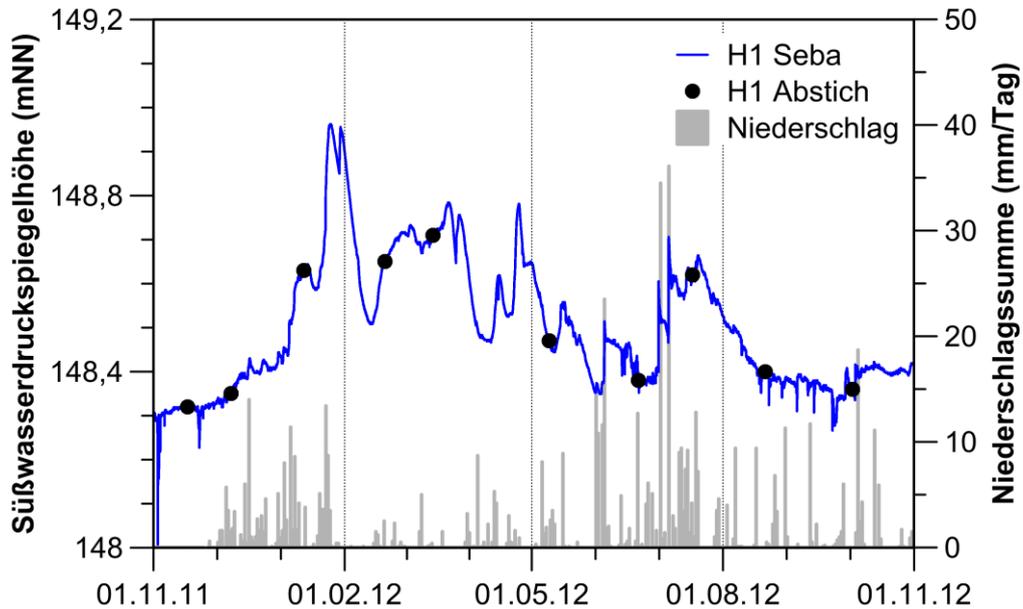


Abb. G.5: Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GWM H1 (*mu*) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).

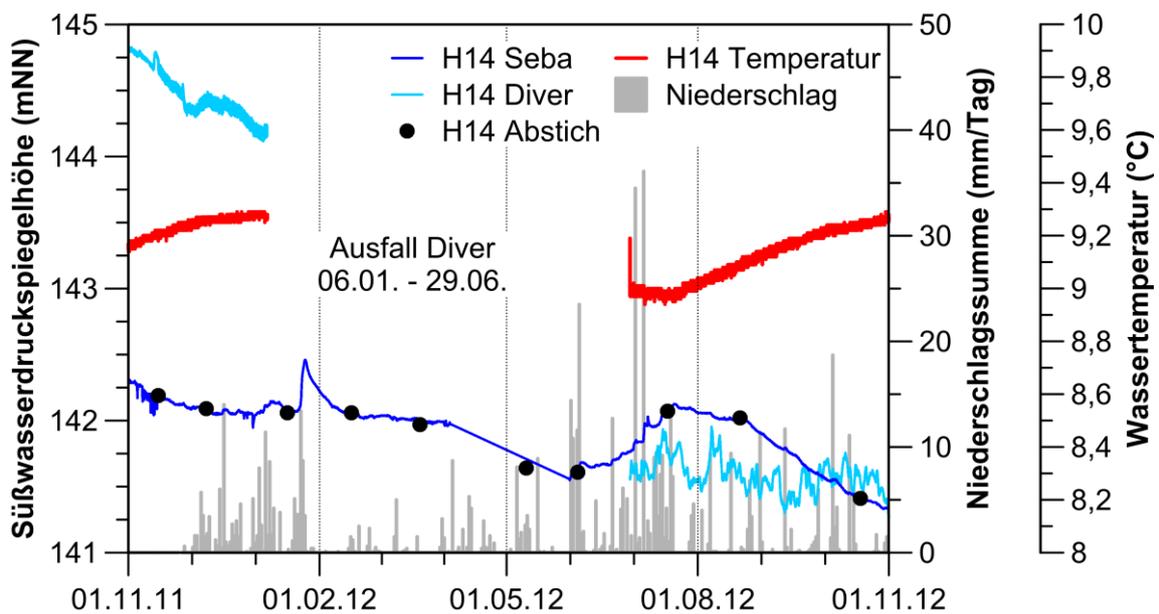


Abb. G.6: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H14 (*mu*) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 505 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

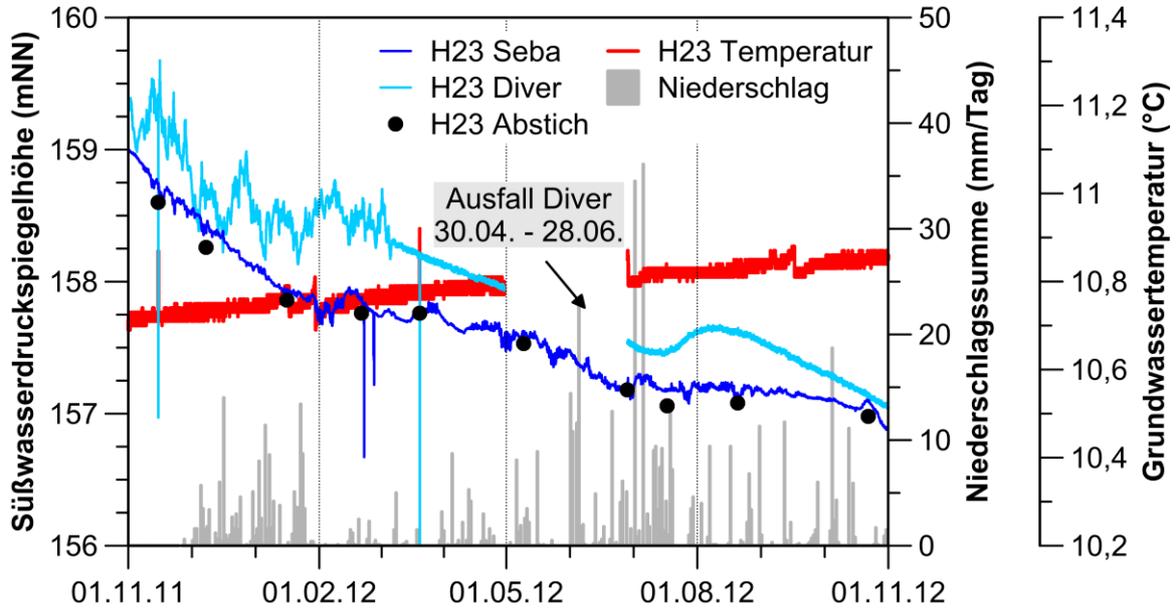


Abb. G.7: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H23 (*mu*) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).

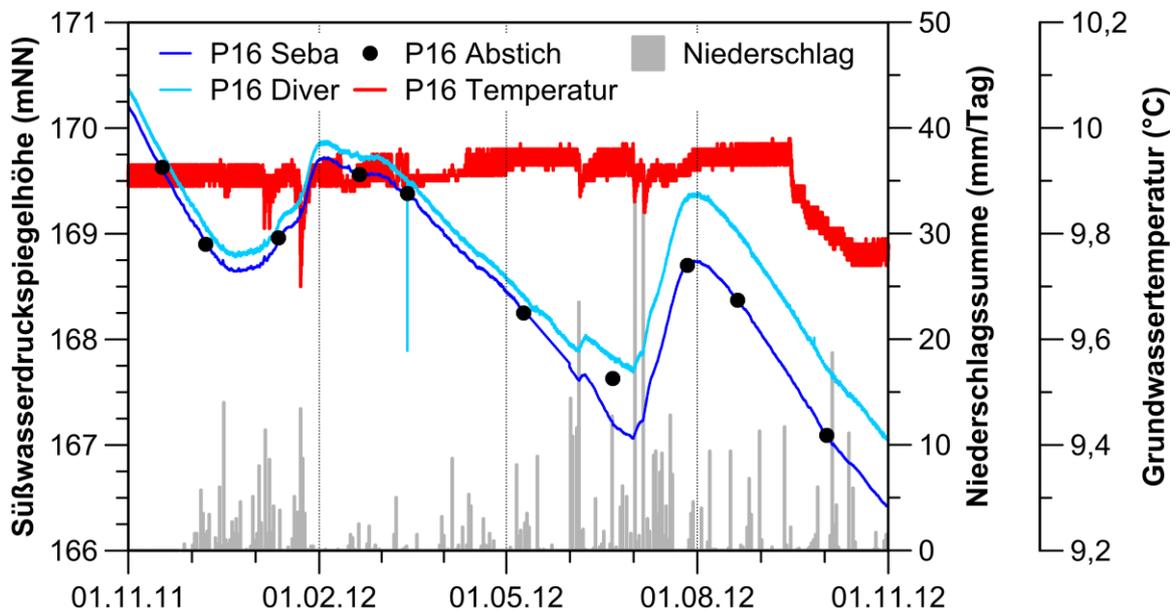


Abb. G.8: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P16 (*mu*) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 506 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

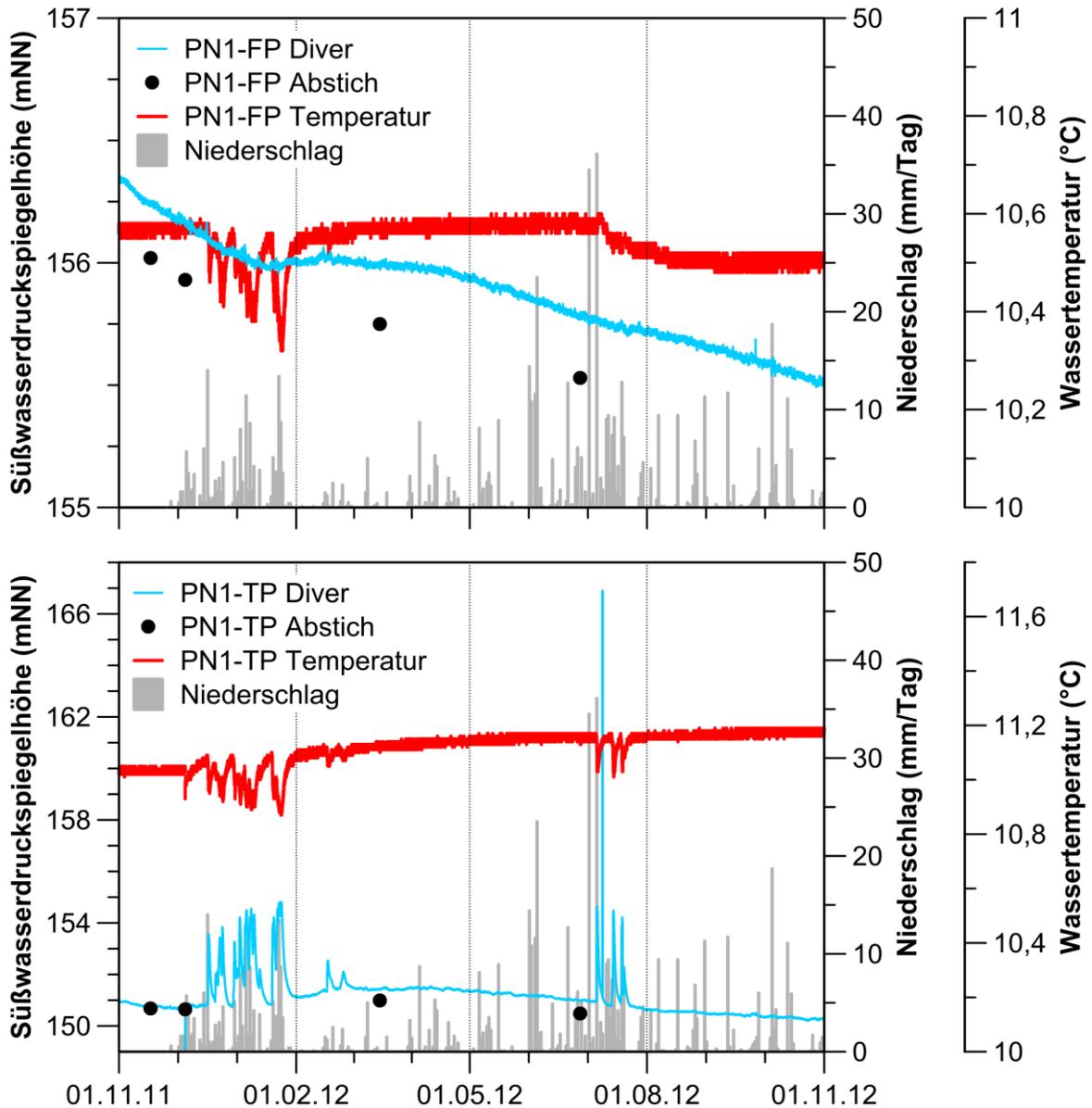


Abb. G.9: Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM PN1-FP (*mu*; oben) und PN1-TP (*mu*; unten) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 507 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

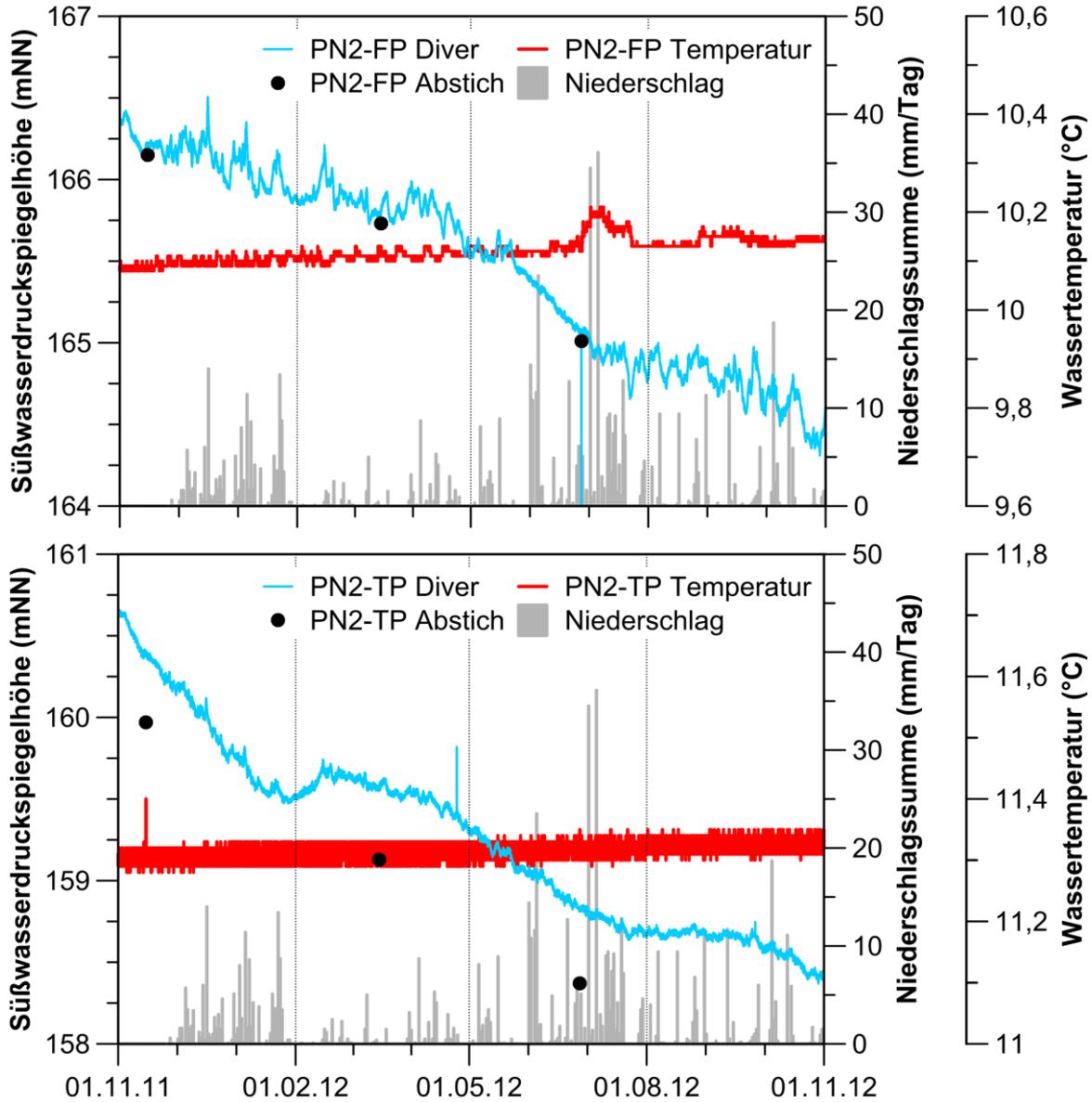


Abb. G.10: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM PN2-FP (*mu*; oben) und PN2-TP (*mu*; unten) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 508 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

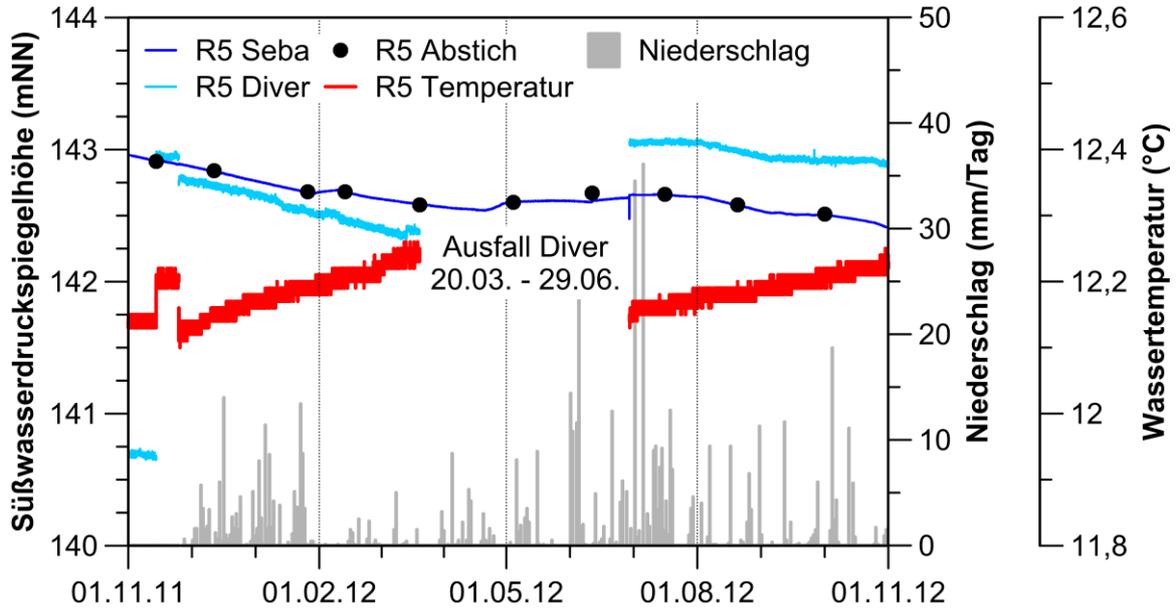


Abb. G.11: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GW R5 (*mu*) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).

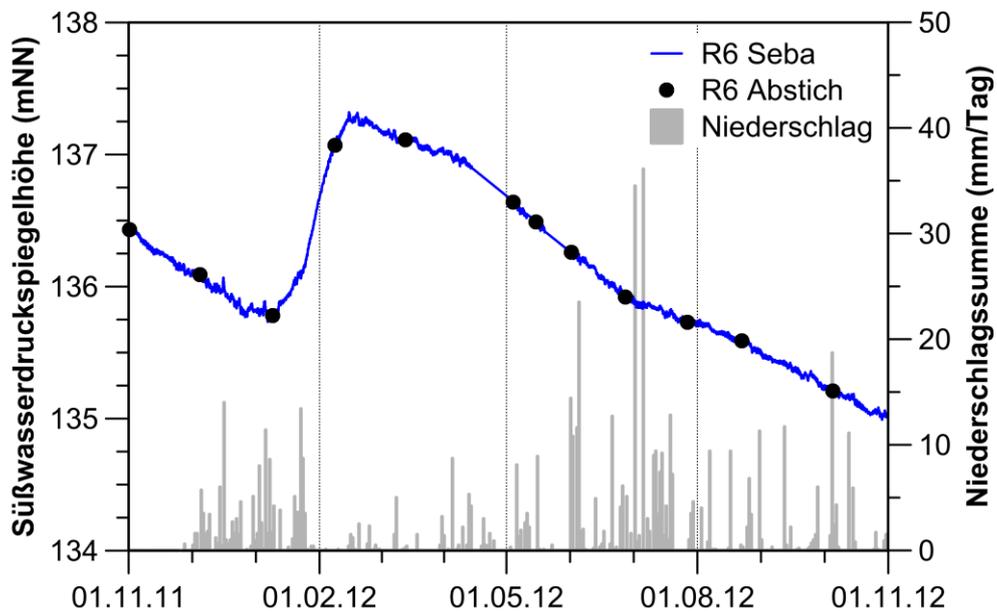


Abb. G.12: Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GW R6 (*mu*) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 509 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

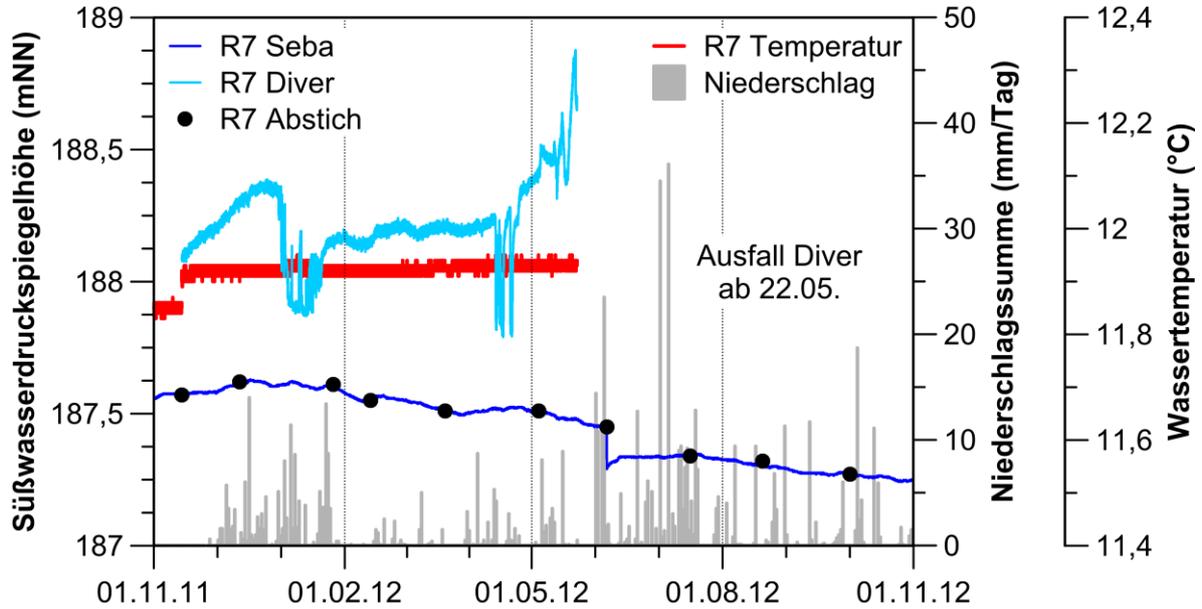


Abb. G.13: Ganglinien und der Temperatur der Süßwasserdruckspiegelhöhe in der GW R7 (*mu*) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).

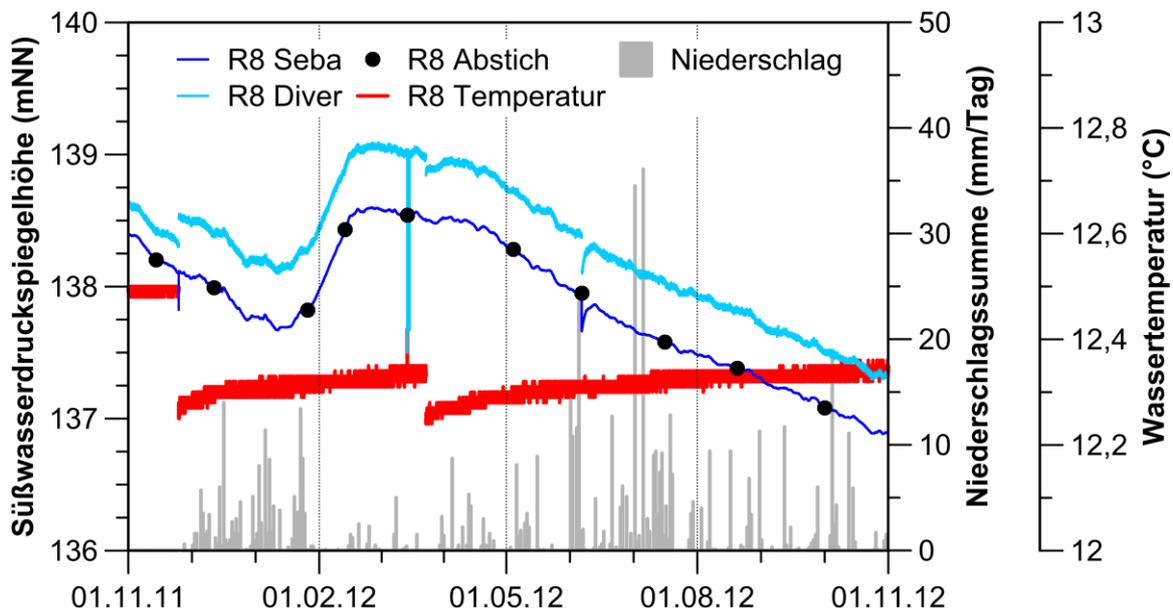


Abb. G.14: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GW R8 (*mu*) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 510 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

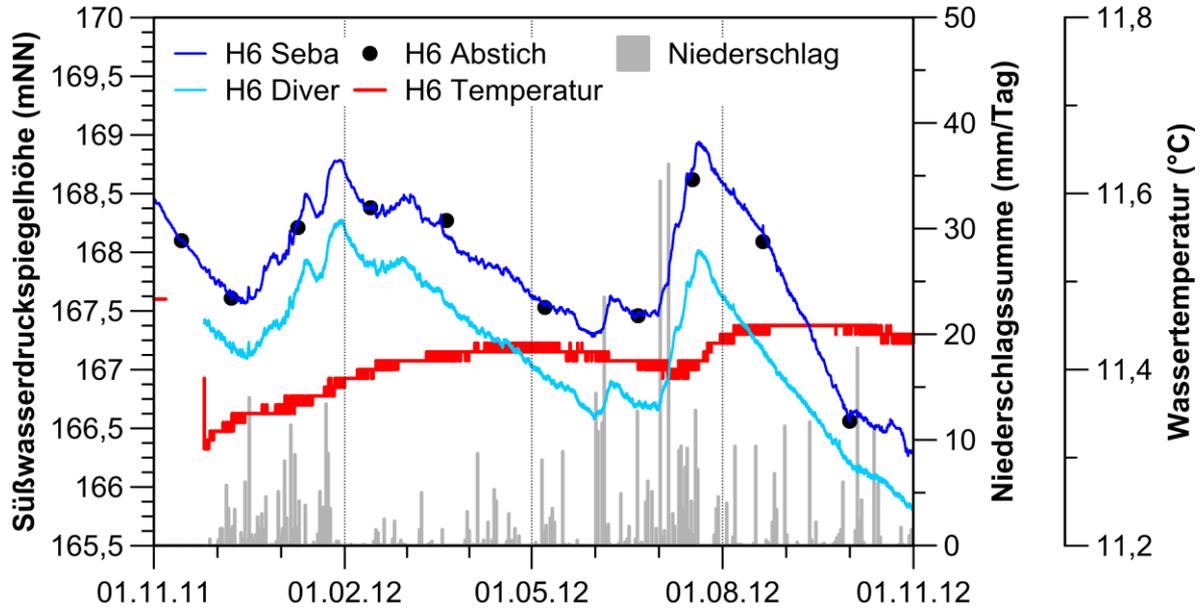


Abb. G.15: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H6 (mm) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).

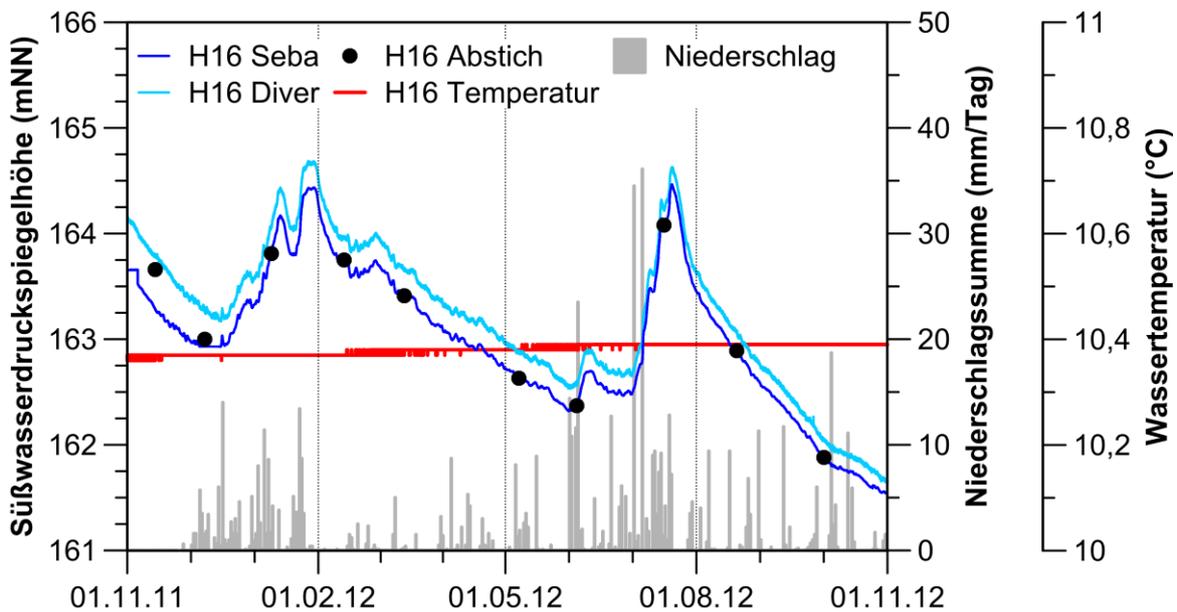


Abb. G.16: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H16 (mm) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 511 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

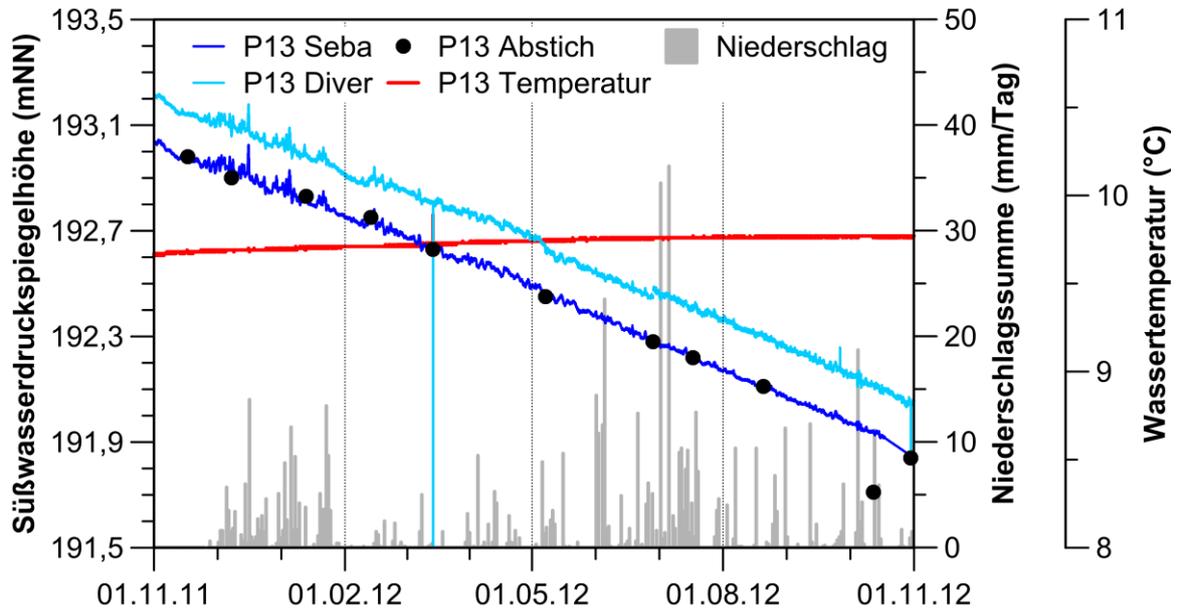


Abb. G.17: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P13 (*mm, so*) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).

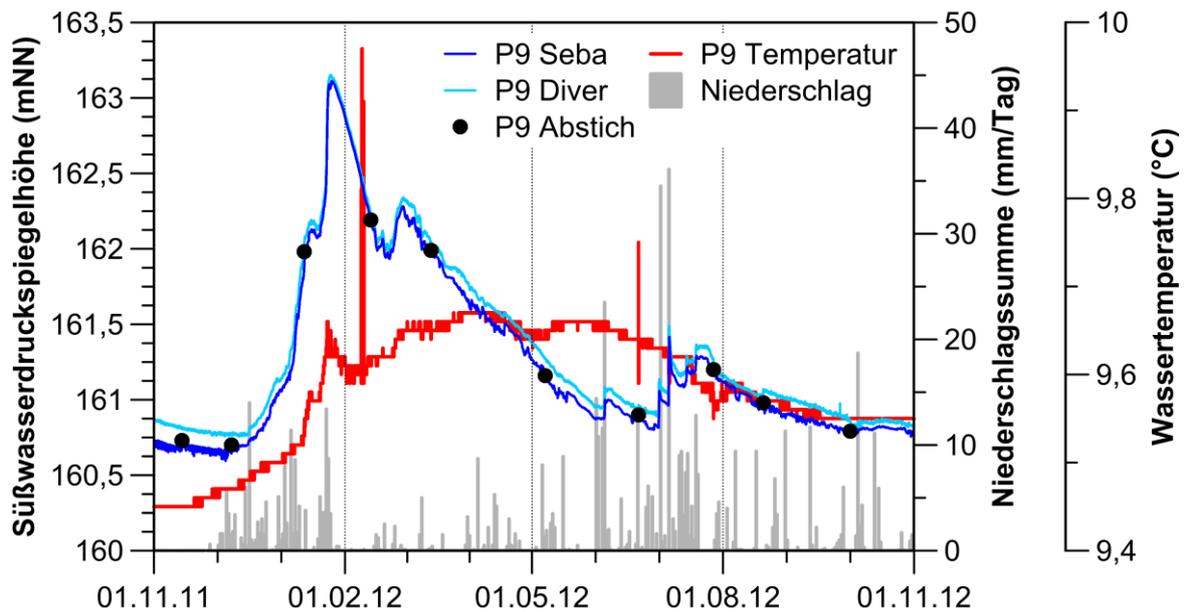


Abb. G.18: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P9 (*km*) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 512 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

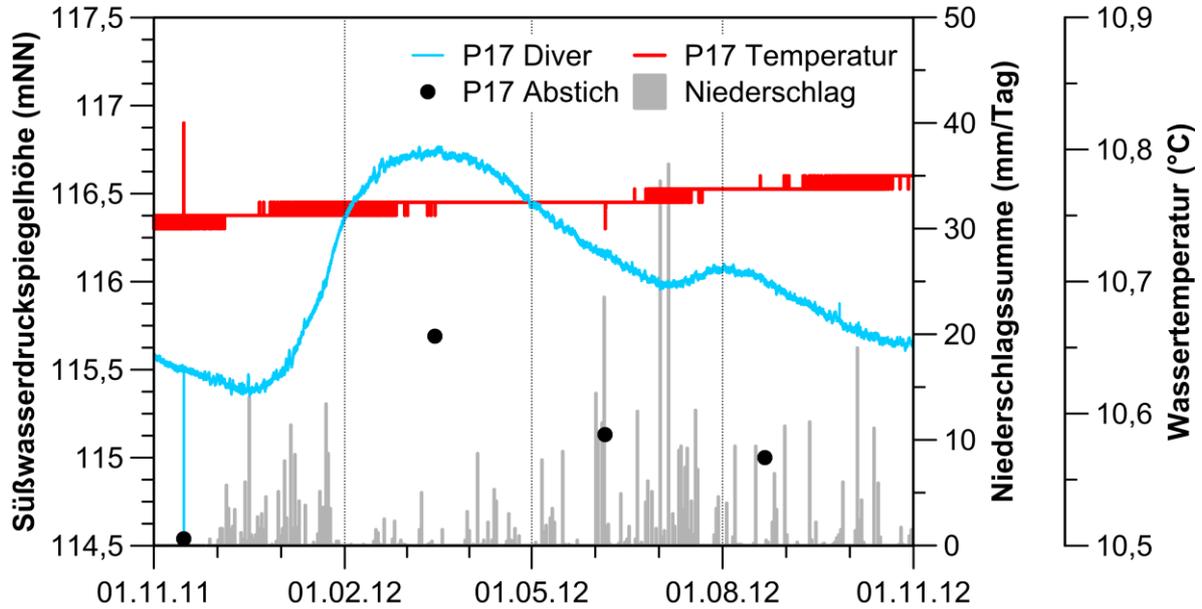


Abb. G.19: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P17 (km) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).

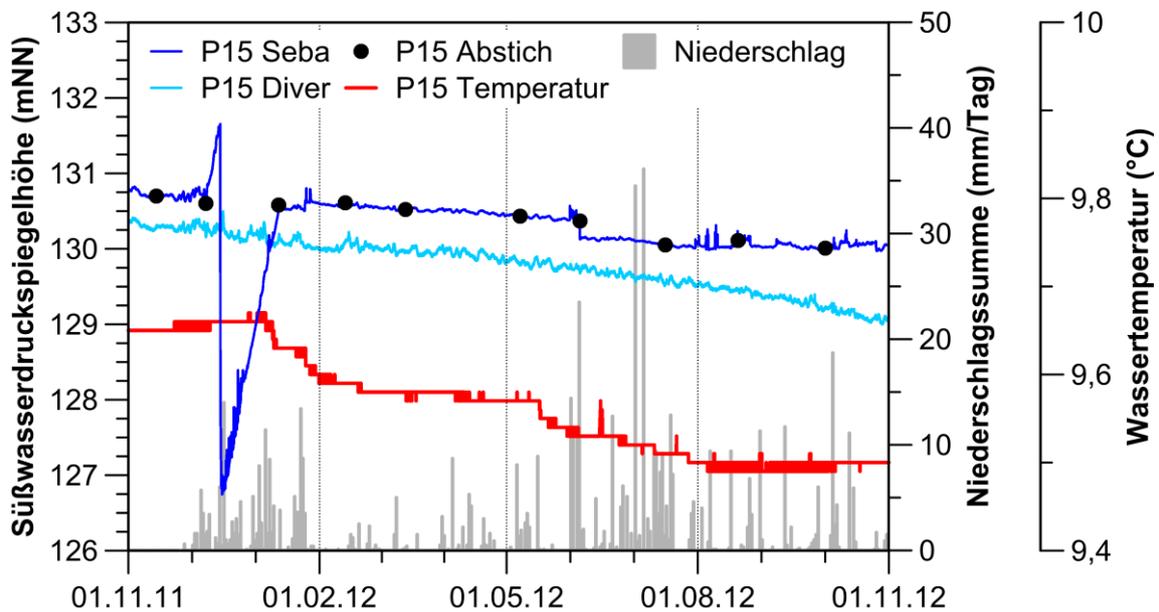


Abb. G.20: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM P15 (ko) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 513 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

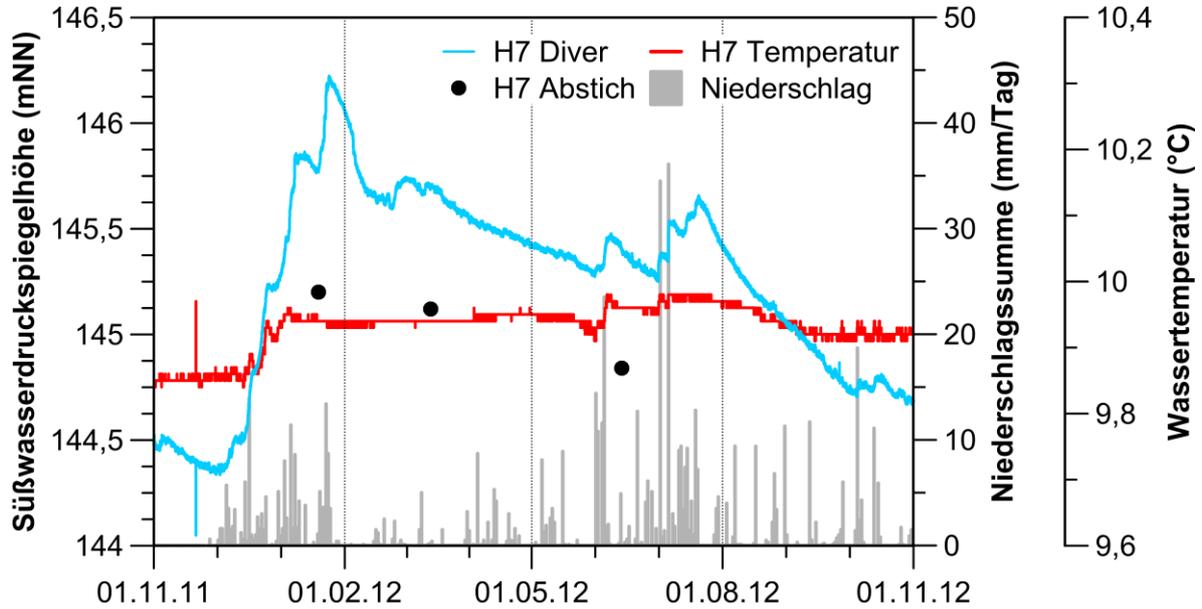


Abb. G.21: Ganglinie der Süßwasserdruckspiegelhöhe des Diver-Druckaufnehmers in der GWM H7 (μ) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).

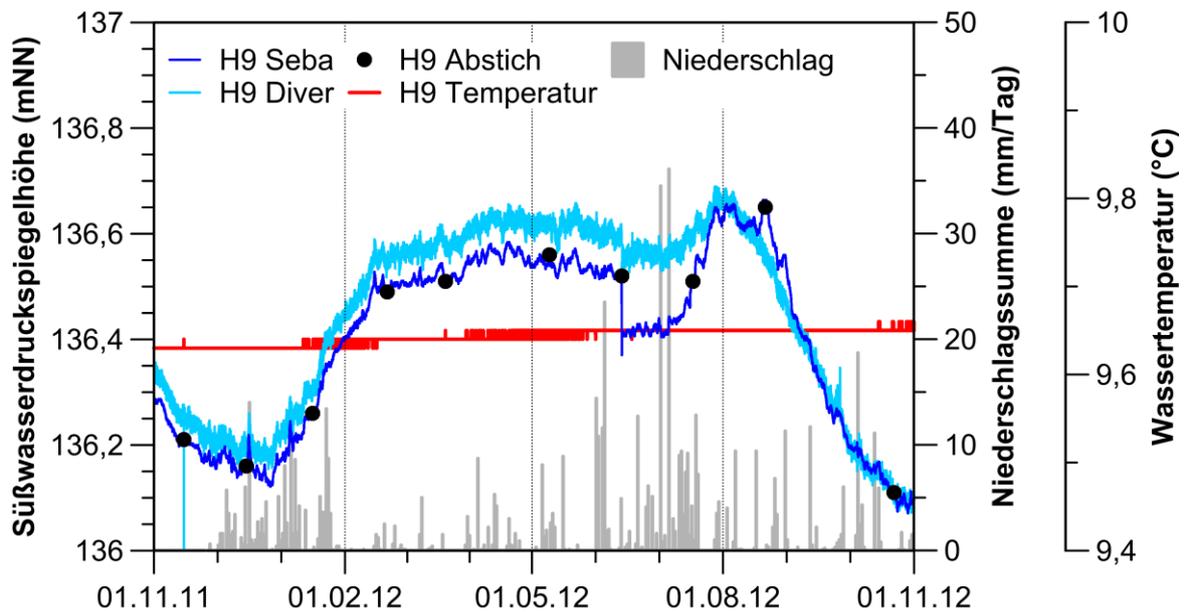


Abb. G.22: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H9 (μ) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 514 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

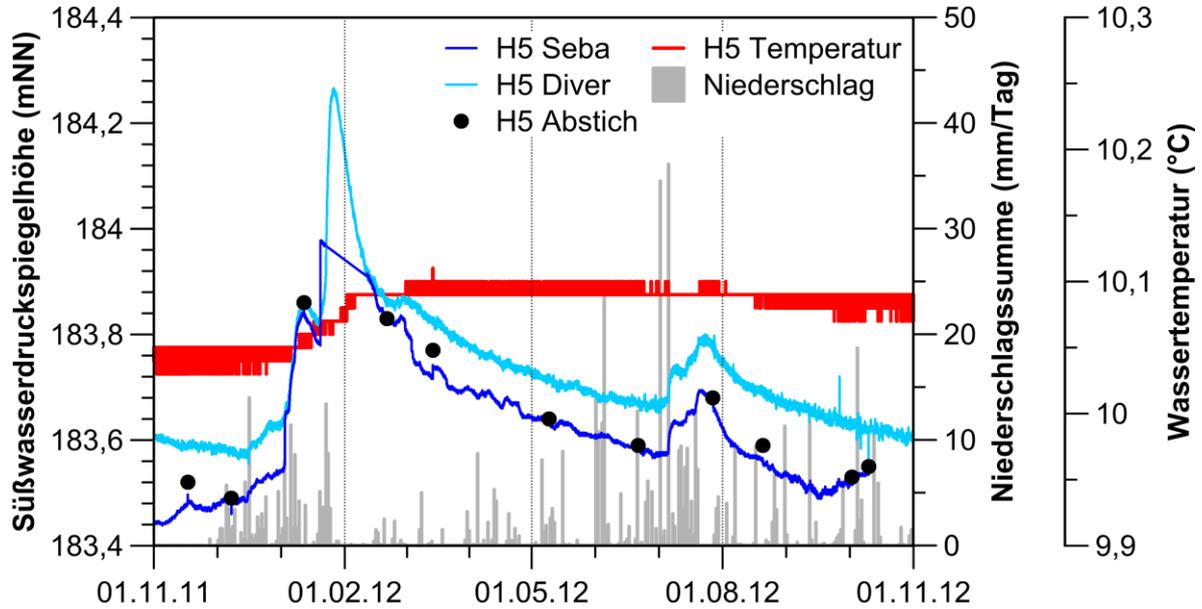


Abb. G.23: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H5 (so, z3r) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).

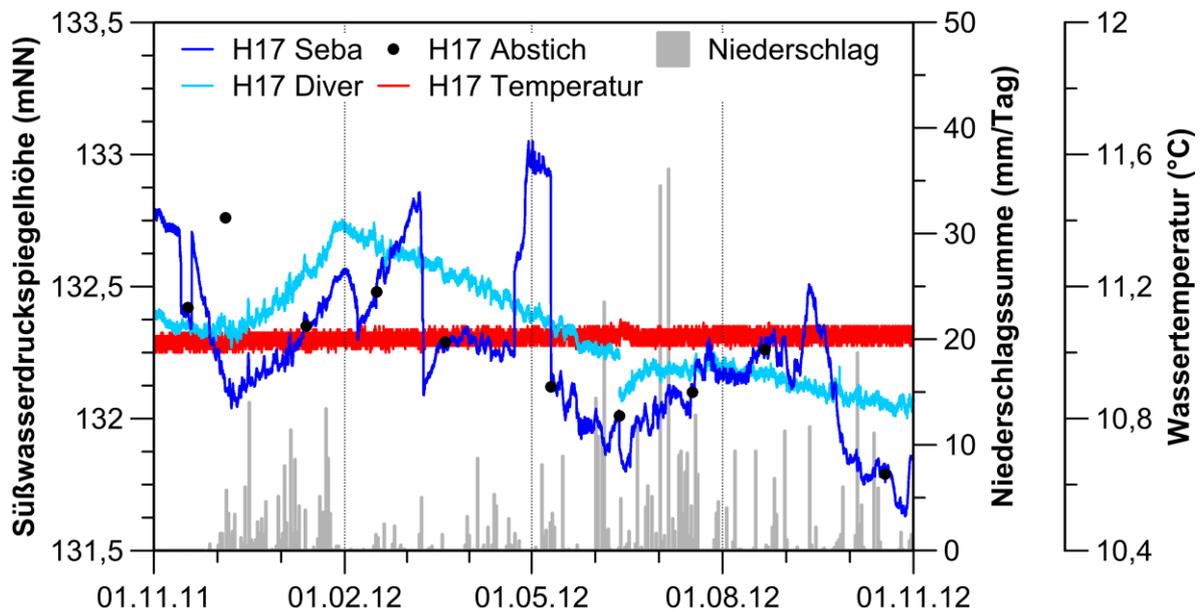


Abb. G.24: Ganglinien der Süßwasserdruckspiegelhöhe und der Temperatur in der GWM H17 (Subsionsgerinne am Salzspiegel) zusammen mit den Niederschlagssummen (hydrologisches Jahr 2012).



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 515 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. G.1: Extremwerte der Wasserspiegel unter Messpunkt („WSP“) und Süßwasserdruckspiegelhöhen („FWH“) in den H-Messstellen desASSE-Höhenzuges für die gesamte Zeitreihe seit Beginn der Messungen sowie für das hydrologische Jahr 2012 (i.W. Daten der Seba-Druckaufnehmer).

GWM	von	bis	Min WSP	Min FWH	Datum	Max WSP	Max FWH	Datum
			(m)	(mNN)		(m)	(mNN)	
H1	07.12.79	31.10.12	4,73	147,80	03.09.91	1,41	151,12	14.04.94
H1	01.11.11	31.10.12	4,52	148,01	03.11.11	3,57	148,96	24.01.12
H3 ⁽¹⁾	02.01.84	31.10.12	62,86	163,33	03.07.87	53,68	172,52	23.04.94
H3 ⁽¹⁾	01.11.11	31.10.12	63,28	162,91	02.11.11	53,46	172,73	25.03.12
H5	14.03.73	31.10.12	12,99	183,18	12.12.91	10,03	186,14	10.03.79
H5	01.11.11	31.10.12	12,73	183,44	05.11.11	12,19	183,98	20.01.12
H6	02.03.81	31.10.12	17,72	162,97	20.12.91	5,39	175,30	14.04.94
H6	01.11.11	31.10.12	14,43	166,27	29.10.12	11,75	168,94	20.07.12
H7 ⁽²⁾	26.10.10	31.10.12	28,06	144,04	21.11.11	30,87	146,40	14.01.11
H7 ⁽²⁾	01.11.11	31.10.12	28,06	144,04	21.11.11	30,75	146,22	24.01.12
H9	02.01.83	31.10.12	9,56	135,67	22.12.06	6,52	138,71	03.01.03
H9	01.11.11	31.10.12	9,16	136,07	28.10.12	8,57	136,66	20.08.12
H14	14.03.73	31.10.12	10,86	137,99	18.12.80	1,94	146,91	15.04.94
H14	01.11.11	31.10.12	7,52	141,33	29.10.12	6,39	142,46	24.01.12
H16	21.07.73	31.10.12	18,46	157,94	21.12.91	1,92	174,47	30.04.94
H16	01.11.11	31.10.12	14,85	161,54	30.10.12	11,93	164,47	20.07.12
H17	02.01.78	31.10.12	46,89	130,70	18.01.07	40,10	137,49	11.04.79
H17	01.11.11	31.10.12	45,96	131,63	27.10.12	44,54	133,05	29.04.12
H23	15.04.86	31.10.12	69,84	155,53	04.03.07	60,44	164,92	23.04.94
H23	01.11.11	31.10.12	68,69	156,67	22.02.12	66,36	159,0	01.11.11
H24b	30.04.86	31.10.12	44,77	168,20	14.01.07	9,26	203,70	24.03.88
H24b	01.11.11	31.10.12	44,27	168,69	22.10.12	23,44	189,52	05.07.12

Anmerkung: Die grau hinterlegten Zeilen enthalten die Extremwerte der gesamten Zeitreihe der jeweiligen Messstelle seit Beginn der Messungen. Die Zeile darunter enthält jeweils die Extremwerte für den Zeitraum des hydrologischen Jahres 2012.

⁽¹⁾ Seba-Druckaufnehmer Februar-März 2012 defekt, daher Minimal- und Maximalwerte nicht gewertet.

⁽²⁾ Diver-Druckaufnehmer



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 516 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. G.2: Extremwerte der Wasserspiegel unter Messpunkt („WSP“) und Süßwasserdruckspiegelhöhen („FWH“) in den P- und PN-Messstellen des Asse-Höhenzuges für die gesamte Zeitreihe seit Beginn der Messungen sowie für das hydrologische Jahr 2012 (Daten der Seba- bzw. Diver-Druckaufnehmer).

GWM	von	bis	Min WSP	Min FWH	Datum	Max WSP	Max FWH	Datum
			(m)	(mNN)		(m)	(mNN)	
P9	08.10.87	31.10.12	3,93	160,13	02.11.01	0,33	164,45	02.01.03
P9	01.11.11	31.10.12	3,53	160,59	05.12.11	1,01	163,11	25.01.12
P13	07.02.86	31.10.12	23,49	190,71	18.01.08	18,93	195,27	04.05.88
P13	01.11.11	31.10.12	22,37	191,83	30.10.12	21,16	193,05	03.11.11
P15	13.01.88	31.10.12	36,91	122,92	03.01.02	26,38	133,44	12.04.89
P15	01.11.11	31.10.12	33,08	126,74	16.12.11	28,17	131,65	15.12.11
P16	05.02.86	31.10.12	39,62	162,11	07.12.01	20,95	180,78	04.07.94
P16	01.11.11	31.10.12	35,31	166,42	30.10.12	31,52	170,21	01.11.11
P17 ⁽¹⁾	17.06.10	31.10.12	42,89	115,35	17.12.11	46,26	118,62	21.01.11
P17 ⁽¹⁾	01.11.11	31.10.12	42,89	115,35	17.12.11	44,59	116,77	17.03.12
PN1-FP ⁽¹⁾	21.04.10	31.10.12	19,31	155,51	31.10.12	21,46	157,14	23.03.11
PN1-FP ⁽¹⁾	01.11.11	31.10.12	19,31	155,51	31.10.12	20,53	156,26	13.11.11
PN1-TP ⁽¹⁾	21.04.10	31.10.12	34,2	150,29	31.10.12	41,88	157,85	09.01.11
PN1-TP ^(1,2)	01.11.11	31.10.12	34,2	150,29	31.10.12	50,91	166,89	08.07.12
PN2-FP ⁽¹⁾	22.04.10	31.10.12	10,93	164,38	27.10.12	15,43	168,72	07.02.11
PN2-FP ⁽¹⁾	01.11.11	31.10.12	10,93	164,38	27.10.12	13,03	166,37	01.11.11
PN2-TP ⁽¹⁾	22.04.10	31.10.12	41,86	158,43	31.10.12	48,88	164,04	02.03.11
PN2-TP ⁽¹⁾	01.11.11	31.10.12	41,86	158,43	31.10.12	44,27	160,63	01.11.11

Anmerkung: Die grau hinterlegten Zeilen enthalten die Extremwerte der gesamten Zeitreihe der jeweiligen Messstelle seit Beginn der Messungen. Die Zeile darunter enthält jeweils die Extremwerte für den Zeitraum des hydrologischen Jahres 2012.

⁽¹⁾ Diver-Druckaufnehmer

⁽²⁾ GW-Ganglinie durch Wasserzufluss in das Standrohr gestört, daher Minimal- und Maximalwerte nicht gewertet.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 517 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. G.3: Extremwerte der Wasserspiegel unter Messpunkt („WSP“) und Süßwasserdruckspiegelhöhen („FWH“) in den R-Messstellen des Asse-Höhenzuges sowie in Schacht Asse 1 und 3 für die gesamte Zeitreihe seit Beginn der Messungen sowie für das hydrologische Jahr 2012 (i.W. Daten der Seba-Druckaufnehmer).

GWM	von	bis	Min WSP	Min FWH	Datum	Max WSP	Max FWH	Datum
			(m)	(mNN)		(m)	(mNN)	
R5	06.07.85	31.10.12	131,34	85,84	07.12.89	12,24	204,94	08.10.87
R5	01.11.11	31.10.12	74,77	142,41	31.10.12	74,22	142,96	01.11.11
R6	02.01.86	31.10.12	128,39	84,96	24.01.97	65,90	147,45	04.02.11
R6	01.11.11	31.10.12	78,36	134,99	28.10.12	76,03	137,32	15.02.12
R7	20.03.87	31.10.12	111,79	134,38	26.02.90	51,19	194,98	10.07.89
R7	01.11.11	31.10.12	58,93	187,24	24.10.12	58,54	187,63	17.12.11
R8	13.02.87	31.10.12	150,24	28,52	14.12.89	25,89	152,87	18.02.96
R8	01.11.11	31.10.12	41,88	136,88	29.10.12	40,16	138,60	26.02.12
S1	24.10.73	31.10.12	28,08	132,47	01.10.87	10,35	150,20	25.04.08
S1	01.11.11	31.10.12	24,14	136,41	09.01.12	22,78	137,77	26.07.12
S3 ⁽¹⁾	19.11.76	31.10.12	20,50	175,47	02.12.81	7,93	188,04	01.10.81
S3 ⁽¹⁾	01.11.11	31.10.12	12,22	183,75	18.10.11	12,12	183,85	21.11.11

Anmerkung: Die grau hinterlegten Zeilen enthalten die Extremwerte der gesamten Zeitreihe der jeweiligen Messstelle seit Beginn der Messungen. Die Zeile darunter enthält jeweils die Extremwerte für den Zeitraum des hydrologischen Jahres 2012.

⁽¹⁾ Abstichdaten; Diver erst seit 11.05.2011 installiert.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 518 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

G.2 Meteorologische Daten und Abflussmessungen

G.2.1 Niederschlags- und Temperaturgeschehen

Das hydrologische Jahr 2012 begann mit einem extrem niederschlagsarmen November (Monatssumme: 0,6 mm). Dieser November war im Land Niedersachsen der trockenste November seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahre 1881. Trotz der überwiegend warmen Witterung sind bereits 9 Frosttage zu verzeichnen. Die nachfolgenden Monate Dezember 2011 und Januar 2012 brachten dagegen die ersten langfristige Niederschlagsperiode des Jahres (Summe der Monate Dezember und Januar ca. 148 mm), aber kaum Frost und Schnee. Im Zeitraum zwischen Ende Januar und Mitte Februar gab es dann eine längere Periode mit außergewöhnlich tiefen Temperaturen (minimaler Tagesmittelwert bei rund -15°C am 06.02.2012), jedoch wiederum kaum Niederschläge bzw. Schnee. Die Monate März bis Mai brachten dann überwiegend warme Witterung mit insgesamt geringen Niederschlägen. Dagegen waren die Monate Juni und Juli gegenüber dem langjährigen Durchschnitt außergewöhnlich kühl und niederschlagsreich (Summe der beiden Monate: 240 mm). Zudem gab es am Standort Asse in den ersten Juni- (max. 24 mm/Tag) bzw. Julitagen (max. 37 mm/Tag) mehrere Starkregenereignisse. Die anschließenden Sommer- und Herbstmonate brachten insgesamt relativ durchschnittliche Niederschläge und Temperaturen.

Die Niederschlagsjahresbilanz des hydrologischen Jahres 2012 beläuft sich auf 608 mm am Standort Asse und liegt damit um 7 % unter dem 10-jährigen Mittel 2002 bis 2011 von 656 mm.

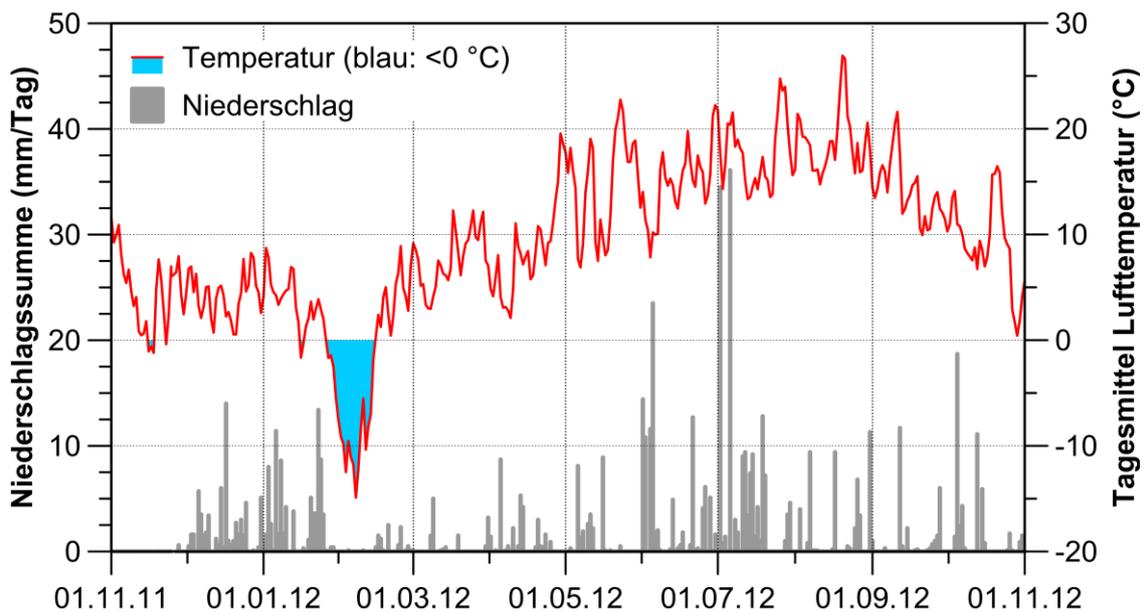


Abb. G.25: Tägliche Niederschlagshöhen und Tagesmitteltemperaturen an der meteorologischen Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2012.



Bundesamt für Strahlenschutz

Sachstandsbericht Hydrogeologie

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 519 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Tab. G.4: Niederschlagsdaten der Station bei Schacht Asse 2 für das hydrologische Jahr 2012.

Jahr	2011	2011	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012
Tag/Monat	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.
	Tagessumme (mm)											
1.	–	0,5	1,6	–	–	–	–	10,8	34,5	–	–	–
2.	–	1,6	8	–	–	0,1	0,3	–	0,8	4	–	–
3.	–	1,6	2,6	0,1	–	–	–	11,6	1,4	–	–	1,4
4.	–	–	0,1	–	–	8,7	–	23,5	–	–	–	18,7
5.	–	5,7	11,4	–	–	–	8,1	1,8	36,1	0,8	0,3	2,4
6.	–	3,5	1,6	–	–	0,1	1,3	2	–	9,4	–	4,3
7.	–	1,5	8,6	–	1,5	0,5	1,9	0,1	3	0,1	–	0,3
8.	–	1,8	1,7	–	5	–	–	–	1,8	0,1	–	–
9.	–	3,4	4,2	0,1	–	2,2	2,6	–	–	0,1	–	–
10.	–	–	–	–	–	–	3,5	–	9	–	–	–
11.	–	–	–	–	0,1	0,5	2,2	0,2	9,4	–	11,7	–
12.	–	1,2	3,8	–	0,2	5,3	–	4,9	3,4	–	0,5	11,1
13.	–	0,6	–	–	0,4	4,2	–	–	7,4	–	–	–
14.	–	6,0	–	0,4	–	–	–	0,3	9,2	–	2,2	5,9
15.	–	0,4	–	1,5	–	–	8,9	0,6	1,4	0,2	–	0,8
16.	–	14	0,3	1,2	–	–	0,1	1,8	4,2	9,4	–	–
17.	–	1	–	0,1	–	–	–	–	1	–	0,1	–
18.	–	0,6	1,1	–	1,5	0,4	0,1	–	12,8	–	0,2	–
19.	–	1	5,1	2,5	–	3	–	0,6	7,2	–	–	–
20.	–	2,7	3,6	–	–	0,5	–	12,7	–	–	–	–
21.	–	1,6	3,6	–	–	0,4	–	0,1	–	0,5	–	–
22.	–	3	13,4	–	–	1,6	0,5	0,3	–	0,3	0,1	–
23.	–	1,5	8,7	0,6	–	–	–	–	–	–	0,3	–
24.	–	4,6	3,5	2,3	–	0,9	–	4,1	–	2,2	0,7	0,1
25.	–	–	0,1	–	–	–	–	6,1	–	6,8	1	1,7
26.	–	–	–	0,1	–	–	–	–	–	3,4	1,5	0,1
27.	0,6	0,1	0,4	0,5	–	–	–	5,1	1	–	6	–
28.	–	–	0,4	0,1	–	–	–	–	3,5	–	–	–
29.	–	0,4	–	0,1	0,5	–	–	1,6	4,6	–	–	0,9
30.	–	5,1	–	–	3,2	–	–	–	–	11,3	–	1,5
31.	–	0,9	–	–	1,4	–	14,4	–	–	1	–	–
Monatssumme	0,6	64,3	83,8	9,6	13,8	28,4	43,9	88,2	151,7	49,6	24,6	49,2
Niederschlags- tage (≥0,1 mm/d)	1	25	21	13	9	14	12	19	19	15	12	13
Niederschlags- tage (≥1 mm/d)	–	18	16	4	5	6	8	12	18	8	5	8
Jahreswerte	Gesamtniederschlag: 608 mm						Niederschlagstage (≥0,1 mm/d): 173					



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 520 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

G.2.2 Abflussraten- und Ganglinien

Pegel der Altenau bei Wendessen

Der Mittelwert der Abflusstageswerte für das hydrologische Jahr 2012 liegt bei $0,349 \text{ m}^3/\text{s}$ und somit deutlich unter dem Mittelwert von $0,613 \text{ m}^3/\text{s}$ für den Zeitraum 2002 bis 2011 und unter dem Mittelwert von $0,505 \text{ m}^3/\text{s}$ nach [NLWKN 2010] für die langjährige Zeitreihe 1964 bis 2010. Der niedrigste Abfluss von $0,103 \text{ m}^3/\text{s}$ im hydrologischen Jahr 2012 wurde am 17. und 18.11.2011 erreicht. Neben diesem markanten Tiefstand im Herbst 2011 ergaben sich weitere markante Tiefstände im Juni sowie September 2012, die jeweils längere Perioden mit einem Tagesmittel von $<0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ aufwiesen. Der höchste Abfluss von $4,92 \text{ m}^3/\text{s}$ wurde am 23.01.2012 erreicht, wobei der Januar 2012 durch zumeist überdurchschnittliche Abflusswerte $>1 \text{ m}^3/\text{s}$ charakterisiert ist. Weitere längere Perioden mit hohen Abflusswerten – die jedoch $1 \text{ m}^3/\text{s}$ nur sehr kurzzeitig übersteigen – wurden in der ersten Hälfte des Monats Juli 2012 beobachtet.

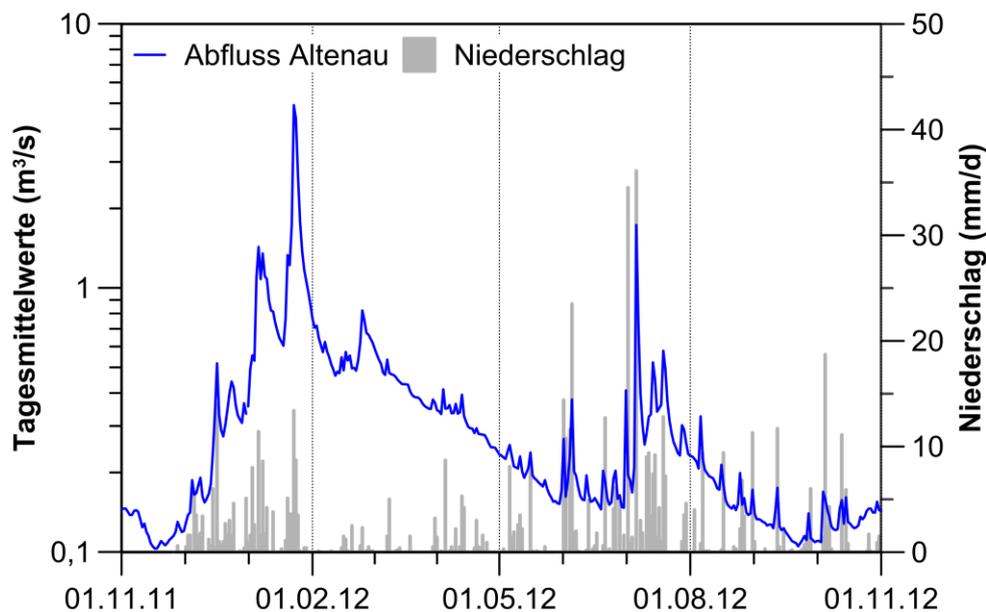


Abb. G.26: Semilogarithmische Abflussganglinie basierend auf Tageswerten des Abflusses der Altenau am Pegel Wendessen für das hydrologische Jahr 2012 (Datenbasis: NLWKN).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 521 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

Lösungszutritt in der Schachanlage Asse II

Für das hydrologische Jahr 2012 ist die Summe der täglich gefassten Zutrittslösung für die 637-m-/658-m-Sohle in Abb. G.27 sowie für die 725-m-/750-m-Sohle in Abb. G.28 gezeigt. Die Summe der täglich in der Südflanke des Asse-Grubengebäudes gefassten Lösungszutritte ist in der Abb. G.29 dargestellt. Insgesamt zeigen sich für den betrachteten Zeitraum 2012 Zutrittsraten zwischen min. ca. 10,8 und max. ca. 12,1 m³/d mit relativ geringen Schwankungen. Am Ende des hydrologischen Jahres 2012 betrug die Gesamtsumme der täglich gefassten Zutrittslösung für die genannten Sohlen in der Südflanke ca. 11,8 m³/d.

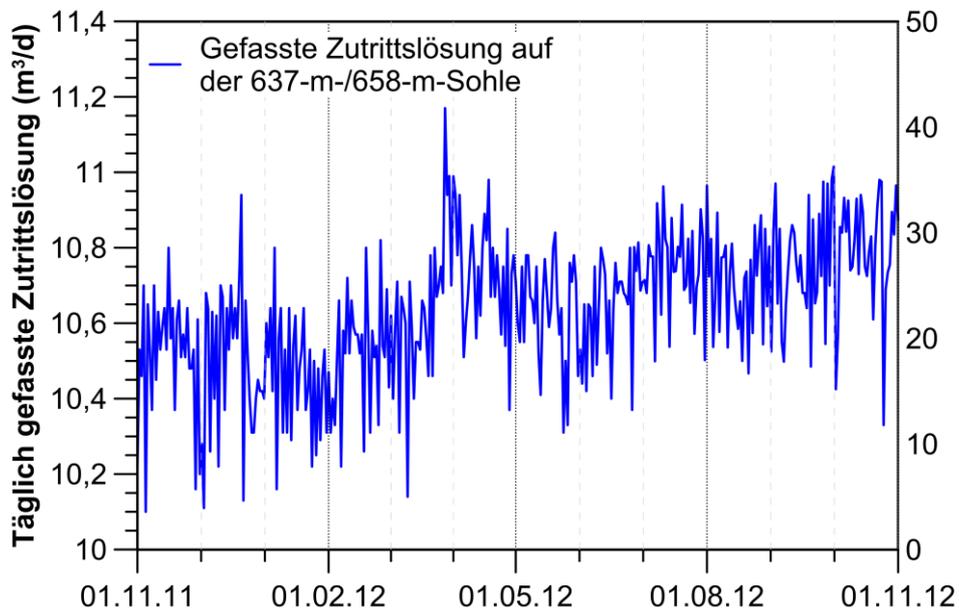


Abb. G.27: Summe der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 637-m- und 658-m-Sohle in der Südflanke der Schachanlage Asse II (hydrologisches Jahr 2012).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	B1785395	Seite: 522 von 522
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 27.08.2014
9A	22100000	HGG	R	0003	00		

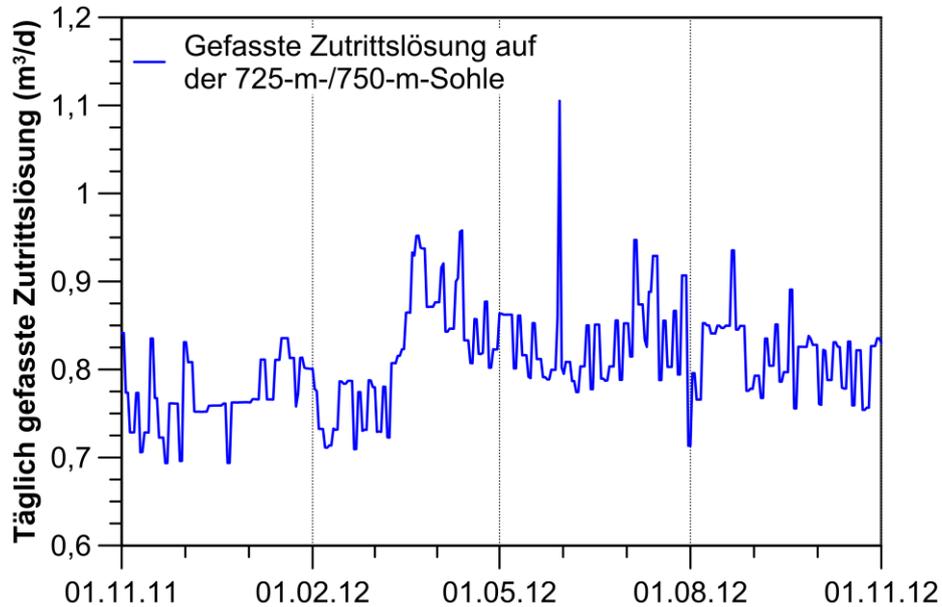


Abb. G.28: Summe der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 725-m- und 750-m-Sohle in der Südflanke der Schachanlage Asse II (hydrologisches Jahr 2012).

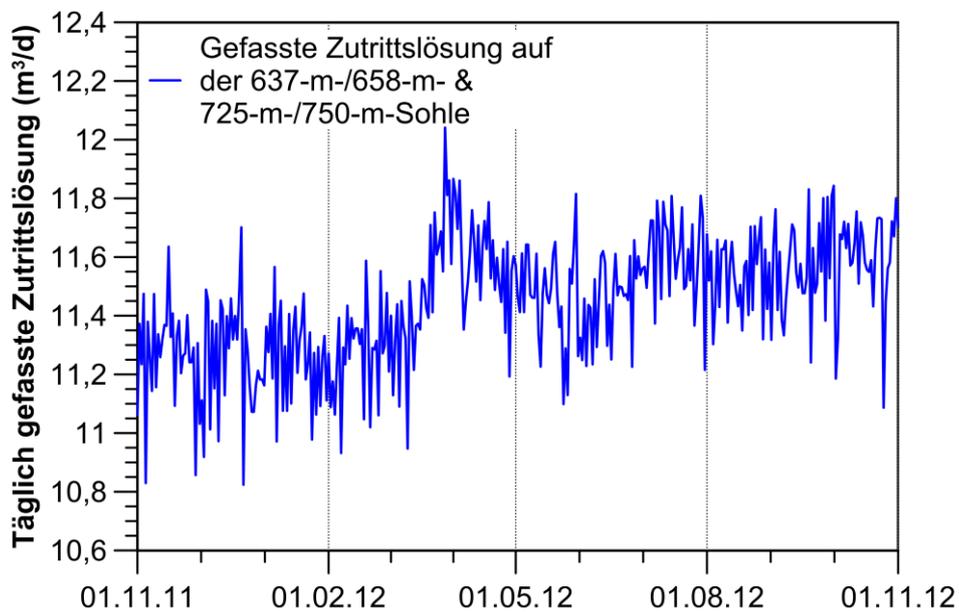


Abb. G.29: Gesamtsumme der aufgefangenen Zutrittslösung auf der 637-m- und 658-m-Sohle sowie der 725-m- und 750-m-Sohle in der Südflanke der Schachanlage Asse II (hydrologisches Jahr 2012).